ISSN 0387-2432

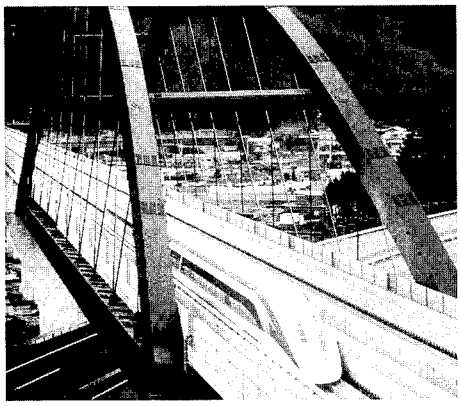
# 三菱重工技報

VOL.34NO.6 1997
MITSUBISHI JUKO GIHO

PB99-178253

## 陸上交通・輸送システム特集

REPRODUCED BY: NTIS
U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161



## 表 紙 説 明

### 山梨リニア実験線

超電導磁気浮上式鉄道は，次世代の理想的な高速大量輸送交通機関と考えられており，その技術の早期完成と実用化を目標にした本格的な実験線が山梨県に建設され，平成9年4月から本格的な走行試験を開始している．実験線車両は，東海旅客鉄道(株)と(財)鉄道総合技術研究所を中心に開発が進められた．

試験最高速度は，550 km/h，先頭部及び車両間の台車に超電導磁石を集中配置した連接台車方式である．先頭形状は高速走行時の空気抵抗・騒音を考慮しており，車体はアルミ合金によるセミモノコック構造により軽量化と高強度・耐久性・高剛性を満たした構造になっている．

写真は山梨実験線用第一編成（MLX 01）で，先頭形状は“ダブルカスプ”形状である．（詳細は本文参照）

写真提供：東海旅客鉄道(株)

NTIS is authorized to reproduce and sell this report. Permission for further reproduction must be obtained from the copyright owner.

**The Cover : The Yamanashi Maglev Test Line**

Superconducting magnetic levitation railways appear to be ideal for use in nextgeneration high-speed mass transport systems, and a full-scale test line to develop and establish the necessary technologies was constructed in Yamanashi Prefecture and started formal running test from April 1997. The development work for vehicles for use on this test line has been advanced mainly by the Central Japan Railway Co. and the Railway Technical Research Institute.

The maximum test speed of the train is 550 km/h. Superconducting magnets are arranged on articulated bogies underneath the leading cars and between each car. The car bodies have an aluminum alloy semi-monocoque structure, which is light in weight while providing sufficient strength, durability and rigidity. The frontal shape is designed to reduce aerodynamic drag and noise.

The photograph shows the Yamanashi Maglev Train (MLX 01). The frontal shape is “Double Cusp.” (See article for details)

Photograph by Central Japan Railway Co.

# 山梨リニア実験線第二編成車両の開発

Development of Second Yamanashi Linear Maglev

名古屋航空宇宙システム製作所　小祝弘道[*1]　小河原邦博[*2]
古賀寛哉[*3]
名古屋誘導推進システム製作所　平田文一[*4]
東海旅客鉄道株式会社　井上明彦[*5]　大島浩[*5]

次世代の理想的な超高速輸送交通システムとして研究されてきた，超電導磁気浮上式鉄道も実証のフェーズに入り，現在山梨実験線で走行試験による確認が進められつつある．当社はこの実験線車両の開発に平成2年度から参画した．第一編成車両用として甲府方先頭車，非弾性支持台車等を製造し平成7年に納入後，すれ違い特性等を確認するための第二編成車両について，東京方先頭車両，乗心地改善をねらった弾性支持台車等について開発，製造を担当している．本報ではこの第二編成車両について概説する．第二編成車両の東京方先頭車の特徴は客席のない非気密構造の電源車であり，第一編成車両以上に厳しい軽量化が要求されている．この車両の先頭形状は，CFD (Computational Fluid Dynamics) 技術と風洞試験により，空気抵抗と空力騒音の低減をねらって最適化した画期的なダブルカスプ形状である．軽量化要求の厳しい車両には航空機の設計手法を適用し，フレーム，ストリンガ配置及び外板板厚を最適化し決定した．また，台車周りのフェアリングと車体構造を一体化し，大幅な軽量化を達成している．弾性支持台車はアルミリベットと溶接のハイブリッド構造や航空機艤(ぎ)装手法の適用により，軽量化と良好な整備性を達成した．

Superconducting magnetic levitation railway which has been studied as the ideal highspeed transportation system is in the certification phase of feasibility and the runnig test using the first train is progressing to confirm the performances at the test line in Yamanashi prefecture. Mitsubishi Heavy Industries Ltd.(MHI) has taken part in developing and manufacturing the maglev vehicle. After delivering the leading car which heads for Kofu city and single suspension spring bogie etc. in 1995 as the first maglev train, MHI is developing and manufacturing the leading car which heads for Tokyo and SCM suspended bogie etc. as the second one used for the highspeed passing performances, etc. This report describes the outline of this second maglev train. Features of the leading car of the second maglev train manufactured by MHI are a power supplying car without passenger seat, no cabin seal and lighter weight compared with the first train car. The shape of this leading car is double cusp same as the first one, obtained as the result of optimization using CFD (Computational Fluid Dynamics) technology and the wind tunnel test to reduce aerodynamic drag and noise. Aircraft designing technique is used to satisfy the light weight requirement by optimization of the skin thickness, the number and the space of the frame, stringer. And one body of the fairing and the structure contributes to reduce weight drastically. The double suspension springs bogie achieves light weight with mixing of aluminium rivet and welded frame and good maintainability using the technique of aircraft's equipment installation.

## 1. まえがき

次世代の理想的超高速輸送システムとして注目され，中央新幹線への適用が期待されている超電導磁気浮上式鉄道は，従来の鉄輪式に比べより高速化が可能であり，高速時の安全性や騒音など環境面でも優れていることから，日本では昭和37年以降研究がなされてきた[(1)(2)]．全長7kmの宮崎実験線での高速浮上走行の実証試験を経て，平成2年に山梨実験線が建設されることとなり，実運用を目指した本格的な評価試験が行われることになった．平成8年には先行区間18kmが完成，平成7年に納入された第一編成車両により実走行試験が平成9年4月から開始され，浮上走行による各種試験が進められている．

第二編成車両は4両編成で，すれ違い特性等を評価することを目的として，第一編成車両同様，東海旅客鉄道(株)と(財)鉄道総合技術研究所並びに車両メーカ，機器メーカにより，車両の開発，製造が行われた．

当社は，東京方先頭車，弾性支持台車，空力ブレーキ，換気空調システム，ガスタービン発電装置，振動制御システム，編成長調整機構付連結器の開発，製造に参画した．

## 2. 山梨リニア実験線

山梨リニア実験線は表1の仕様で計画され[(1)]，先行区間は平成8年に完成した．リニア実験線の実験項目は表2のとおり計画され

表1　山梨リニア実験線
Specifications of Yamanashi maglev test line

| | 走行区間（全体） |
|---|---|
| 総延長 | 18.4 km(42.8 km) |
| トンネル区間 | 16.0 km(34.6 km) |
| 明かり区間 | 2.4 km (8.2 km) |
| 実験センター | 1箇所 |
| 変電所 | 1箇所（1箇所） |
| 車両基地 | 1箇所 |

最高速度　：500 km/h
（試験時：550 km/h）
最小曲率半径：8 000 m
最急こう配　：40 ‰
軌道中心間隔：5.8 m
区間：山梨県東八代郡境川村～南都留郡秋山村

表2　実験項目
Test items of Yamanashi maglev test line

| | |
|---|---|
| 基本走行試験 | 車輪走行試験，浮上走行試験，速度向上試験，最高速度確認試験 |
| 総合機能試験 | 高速すれ違い試験，変電所渡り試験，複数列車制御試験，異常時対応試験 |
| 信頼性確認試験 | 高速連続走行試験，輸送能力確認試験 |
| その他確認試験 | 駅設備確認，環境影響確認，経済性確認，保守基準等確認 |

*1 航空機技術部次長
*2 航空機技術部装備設計課
*4 エンジン・機器部ガスタービンエンジン設計課
*5 リニア開発本部副主幹

巻頭言

# 陸上交通・輸送システム特集の発刊に際して

常務取締役
機械事業本部長
伊藤俊明

陸上交通・輸送システム特集を発刊するに際し，御挨拶申し上げます．早いもので，前回特集発刊から約2年を迎えておりますが，この間，世界的に“快適で豊かな生活の実現に供する新しい交通体系の整備”という課題は，ますますその重要性を増してきており，当社を取巻く環境も変化しつつあります．

本特集では，これらの変化に対応して当社が現在取組んでおります技術開発について紹介致します．

まず，都市と都市を結ぶ高速鉄道分野では，東京・大阪間を1時間で結ぶ“リニア新幹線”の本格的な実験が開始されました．当社は，この実験線車両の第一編成甲府側先頭車両を納入し，さらに第二編成東京側先頭車両と編成長調節機能付連結器を，平成9年9月に納入しました．

また，都市内鉄道分野では，車の渋滞の打開策としてLRT（Light Rail Transit）システムが各地で導入されつつありますが，当社は，フィリピン マニラ市内の交通手段として大きな期待が掛けられているLRT-3プロジェクトをターンキーで受注し，工事を進めています．

大規模空港では，空港内の乗客移動用無人運転交通システムの必要性が高まっていますが，香港新空港では，当社が開発した全自動運転システム車両が試運転に入っており，平成10年春開業の予定であります．さらに，新しい短距離交通手段として開発したロープ駆動式懸垂型交通システム，スカイレールが各関係機関の安全審査を経て，広島県瀬野川地区で実用運転段階に入りました．

以上に加え，これら交通システムの安全性確保のために欠かせない技術として当社が開発した，新幹線の始業時に安全性を確認する確認車，新交通システム3相交流き電システムの信頼性向上技術，目下実用化に向け最終仕上げ段階にある高速鉄道用C/C（Carbon/Carbon）複合材ディスクブレーキ等当社の鉄道総合技術について紹介致します．

次に，近年急速に実用化の機運が盛上がってきた高度道路交通システム（ITS）について紹介致します．

ITSは，従来個別に研究開発が行われてきた道路交通関連のテーマについて，ITSという一つのコンセプトの下で世界規模で取組もうというものです．

当社のITSへの取組みは，従来から開発を行ってきたノンストップ自動料金収受システム（ETC），自動／手動両モード運転貨物車（DMT），自動運転道路システム（AHS）の三分野を柱とし，社内にITS事業化推進組織を発足させ，研究開発に積極的に取組んでいます．

まず，ETCについては，日本での実用化に先立ち平成7年アジア地区の有料道路向けとしては，初めてのETCシステムをマレーシア南北道に納入しました．また，シンガポールでは世界で初めて道路課金システムを受注し，平成10年春から供用される予定です．

次にDMTは，貨物自動車の効率化を目指した，新物流システムの電気自動車で，専用道路では自動運転し，一般道路では運転手が運転するシステムです．当社は，平成5年から，建設省土木研究所から開発・実験装置を受注しており，平成9年は，実験の最終段階として総合評価試験を行います．

またAHSは，安全運転の支援を目指したシステムで，平成8年，技術研究組合／走行支援道路システム開発機構が発足し，各種の研究開発が進められております．当社は，同研究組合に積極的に参画し，コンセプト並びに要素技術の開発を進めています．

今回の特集では，当社の陸上交通・輸送システムの新技術・新製品を紹介致しますが，これにとどまることなく，各機器・システムの一層の技術開発にまい進し，安全で快適な生活の実現を目指したいと考えています．皆様の一層のご指導，ご支援を賜りますようお願い申し上げます．

# MITSUBISHI JUKO GIHO

Special Issue : Surface Transportation System Vol.34 No.6 1997

## CONTENTS

**Foreword** ..... *Toshiaki Ito* 381

**Special Papers & Articles**

Development of Second Yamanashi Linear Maglev ..... *Hiromichi Koiwai · Kunihiro Ogawara · Kanya Koga · Fumikazu Hirata · Akihiko Inoue · Hiroshi Oshima* 382

Construction of EDSA LRT Turnkey System in Manila City ..... *Noritsuka Terabayashi · Yoshiharu Watanabe · Syunichi Shimamura · Fumio Tomikawa* 386

Automated People Mover for Airport ..... *Hiroyuki Mochidome · Michio Koizumi · Masuo Takahashi* 390

Development of Rope Driven Suspended Transportation System SKYRAIL ..... *Fumihiko Kurata · Seiji Yamauchi* 394

Development of Automatical Driving and Obstacles Detection Vehicle for Shinkansen Track Confirmation ..... *Hiroshi Yamashita · Masahiro Yamaguchi · Takashi Nuwa · Shinichi Higashi · Hidemi Niwa* 398

Design and Verification Technique to Power Supply System for Three-Phase AC Based New Transit Systems ..... *Kenichi Aiba · Masayuki Morimoto · Tetsuo Kawakami · Kyoutaroh Onishi · Kazuo Yoda* 402

Development of C/C Composites Disk Brake of High Speed Shinkansen ..... *Kuniaki Wakusawa · Katsuaki Takasaki · Akihiko Matsui · Tatsuo Morimoto · Tositaka Seto · Tosio Hirose* 406

Development of Non-Stop Toll Collection System ..... *Hideyuki Murakoshi · Michio Hamana · Kazumasa Miyamoto* 410

Research and Development of Dual Mode Truck (DMT) System ..... *Hiroshi Saeki · Shinichi Matsumoto · Hiroshi Suzuki · Hiroshi Ikebuti · Nobuyuki Owari* 414

Real-time Traffic Monitoring System Using Image Processing ..... *Tetsuya Tomonaka · Kazumasa Miyamoto · Keiichi Kenmotsu · Mayumi Saitoh · Hideo Urata* 418

Status of Road-Vehicle Communication System for ITS ..... *Michio Hamana · Keiichi Morishita · Hideyuki Murakoshi · Takashi Maeda* 422

**General Papers**

Development of Concrete Armor Unit "Diablock" ..... *Shunji Inoue · Mitsuhiro Yoshimura · Nobuhiro Matsunaga · Misao Hashida* 426

Development of Intelligent Control of GMAW Process ..... *Ken Fujita · Yasumi Nagura · Kenichi Izunami · Hirokazu Morii* 430

Development of Molten Metal Level Monitoring system for Electron Beam Heat Vapor Deposition Equipment ..... *Ikuo Wakamoto · Satoshi Kunimitsu · Kazunori Teshima · Akihiro Kanagawa · Nobuyuki Hukuda* 434

Development of Liquefaction Process of Plastic Waste in Supercritical Water ..... *Kazuaki Kimura · Satoru Sugita · Kazuto Kobayashi · Wataru Matsubara · Yoshihisa Saito · Takehiko Moriya* 438

Development of Aeroacoustics Analysis Program for Helicopter Rotor ..... *Naoki Uchiyama · Masahiro Nakao · Hiroshi Suzuki · Kozo Fujii · Minoru Ohmura* 442

Development of Energy Absorption Type Structural Controlling System ..... *Jun Hirai · Makoto Naruse · Hideaki Harada · Manabu Fujishiro* 446

**New Products**

Low Noise Low Vibration Spiral Compressor ..... 450

Air Conditioner of Hong Kong APM ..... 451

Weigh in Motion Scales ..... 452

Three Dimensional Inspection System of Road ..... 453

ECU for Automobile (Front ECU) ..... 454

Tunnel Inspection System ..... 455

Published by MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, Ltd., 5-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

# 三菱重工技報

陸上交通・輸送システム特集
平成9年　第34巻　第6号


## 目　　次

### 巻　頭　言


陸上交通・輸送システム特集の発刊に際して …… 伊藤俊明 381


### 特集　技術論文・報告


山梨リニア実験線第二編成車両の開発 …… 小祝弘道・小河原邦博・古賀寛哉・平田文一・井上明彦・大島　浩 382

マニラ市 EDSA ライトレールシステムの建設 …… 寺林範司・渡辺芳治・島村俊一・冨川史雄 386

空港向け無人運転車両―香港新空港向け APM 車両― …… 持留裕之・小泉理夫・高橋益夫 390

ロープ駆動式懸垂型交通システム“スカイレール”の開発 …… 倉田章彦・山内誠二 394

新幹線軌道確認のための自動運転支障物検知車両の開発 …… 山下　博・山口正博・怒和　孝・東　伸一・丹羽英臣 398

新交通システムの電力設備に関する設計手法と検証（交流方式） …… 相場謙一・森本雅之・川上哲夫・尾西京太郎・依田和雄 402

高速新幹線用 C/C 複合材ディスクブレーキの開発 …… 涌沢邦章・高崎勝明・松井昭彦・森本立男・勢登利孝・廣瀬俊夫 406

ノンストップ料金収受システムの開発 …… 村越英之・浜名通夫・宮本一正 410

デュアルモードトラックシステムの開発実験 …… 佐伯尋史・松本伸一・鈴木　洋・池渕　博・尾張伸行 414

画像処理を用いたリアルタイム交通流計測システム …… 塘中哲也・宮本一正・見持圭一・斎藤真由美・浦田秀夫 418

ITS 用路車間通信システムの開発状況 …… 浜名通夫・森下慶一・村越英之・前田孝士 422


### 一般　技術論文


新型消波根固コンクリートブロック“ダイヤブロック”の開発 …… 井上俊司・吉村光弘・松永信博・櫨田　操 426

狭開先自動 MAG 溶接の無監視化技術と実用化 …… 藤田　憲・名倉保身・泉並健一・森井宏和 430

電子ビーム真空蒸発装置における溶融金属液レベルモニタの開発 …… 若元郁夫・国光　智・手島和範・金川昭宏・福田信幸 434

超臨界水による廃プラスチック油化プロセスの開発 …… 木村和明・杉田　覚・小林一登・松原　亘・齊藤喜久・守谷武彦 438

ヘリコプタロータ空力騒音解析プログラムの開発 …… 内山直樹・中尾雅弘・鈴木博史・藤井孝藏・大村　稔 442

地震エネルギー吸収型ビル制振システムの開発 …… 平井　潤・成瀬　誠・原田秀秋・藤城　学 446


### 製品紹介


低騒音・低振動渦巻式圧縮機 …… 450

香港 APM 車両用空調装置 …… 451

車両動荷重計測装置 …… 452

道路三次元形状測定システム …… 453

自動車用 ECU（フロント ECU） …… 454

トンネル検査装置 …… 455

＜次号予定＞ …… 456

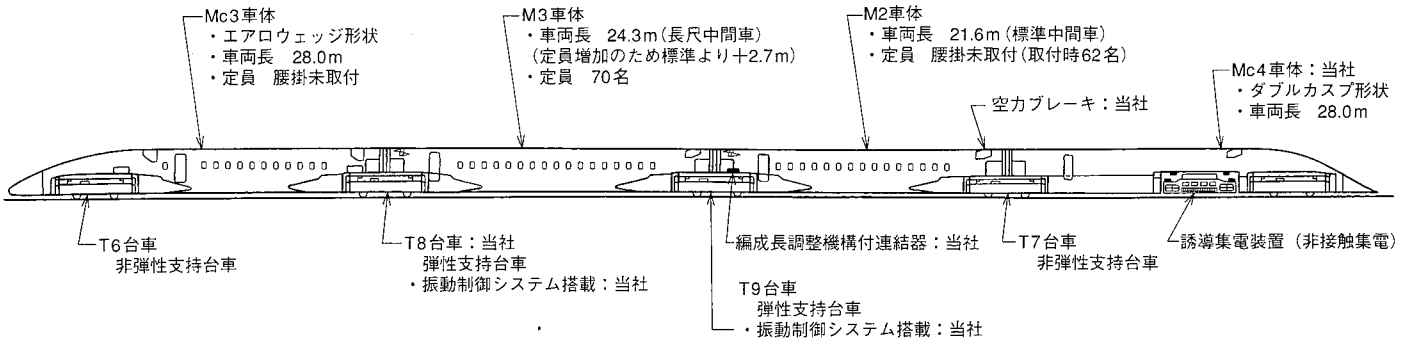



図1　山梨リニア実験線第二編成車両
Second Yamanashi linear maglev

ている．平成9年4月から第一編成車両による走行実験が先行区間で開始され，平成11年までに超電導磁気浮上式鉄道システムについて実用化の見極めがなされる予定である[1]．

## 3．第二編成車両

山梨リニア実験線車両として，当社は平成7年度に第一編成車両（Mc 1先頭車，T 3非弾性支持台車，空力ブレーキ，換気空調システム）を納入し，平成8年からすれ違い特性等の評価に使用される第二編成車両の開発，製造を進めている．本報では当社が第二編成車両として開発，製造を分担した製品の技術紹介をする．

### 3．1　第二編成車両構成

第二編成車両は図1に示すように東京方先頭車 Mc 4，標準中間車 M 2，長尺中間車 M 3 及び甲府方先頭車 Mc 3 の4両から成り，第一編成車両との組合せにより最大5両編成を組成する．

東京方先頭車は，第一編成車両の甲府方先頭車と同じダブルカスプ形状を採用している．本形状は，航空宇宙分野で実績のある計算空力（CFD）を適用し，空気抵抗と騒音の低減を図るべく最適化している[3]．バッテリ，ガスタービン発電装置，誘導集電装置を搭載した電源車で全長28 m となっている．甲府方先頭車は，第一編成車両の東京方先頭車と同じエアロウェッジ形状で全長28 m，すれ違い特性を評価できるように計画されている．長尺中間車は，トイレ，サービススペース付きで将来営業線での客車を想定した全長24.3 m，標準中間車は第一編成車両と同じ21.6 m の仕様となっている．基本性能は試験最高速度550 km/h，浮上開始速度は100 km/h 強，浮上高さは約10 cm となっている[3]．

### 3．2　東京方先頭車車体

#### 3．2．1　構　　造

東京方先頭車 Mc 4は，客席のない非気密構造の電源車で第一編成先頭車 Mc 1と異なった構造となっている．電源車としてガスタービン発電装置等が搭載されるとともに，誘導集電装置を車輪走行時には車体で吊り下げる方式としている．このため，インフラストラクチャや支持脚の耐荷性能から，車両の重量制限要求が厳しい．第一編成先頭車に比べても構体重量で約10％の軽量化が要求されている．

構造様式としては，軽量かつ高剛性・高強度で，航空機構造に多用されるセミモノコック様式を採用した．また，内外圧荷重がほとんど加わらない非気密構造のため，気密構造の場合構造効率の良い円形断面を採用する必要がなく，フェアリングと構体とを一体にして重量最小となる断面とした．材質はジュラルミン（2024-T 42/-T 3，7075-T 73，7050-T 7351）を使用し，フレーム間隔，ストリンガ間隔，外板板厚をパラメトリックに変えて重量を最小にするよう最適化を行った．最適化は，まず強度に対し実施し，次に剛性について考慮した．剛性は誘導集電装置を吊り下げた場合の最大変位を約30 mm に抑えるようにした．先頭台車部，誘導集電装置部と連続した大きな切欠きを有し，構造効率が悪いため，この変形量に抑えることは容易ではなく，部材配置等には特に注意を払った．

以上の結果，構体の基本構造としてフレーム間隔を約600 mm，ストリンガを約250 mm に配し，外板板厚は1.6 mm 又は2.0 mm をベースとし，底面部は1.27 mm，鳥衝突要求がある前面部は4 mm とした．この基本構造に対し，更に詳細な有限要素法解析を実施し，強度，剛性要求を満足することを確認しつつ設計を進めた．この結果，第二編成構体は厳しい軽量化要求を達成することができた．

図2に第二編成先頭車 Mc 4の構造様式と第一編成先頭車 Mc 1との断面形状の比較を示す．

なお，構体の形式検査として，平成9年3月から5月にかけ構体荷重試験を実施し，強度，剛性のすべての設計要求を満足していることを確認した．

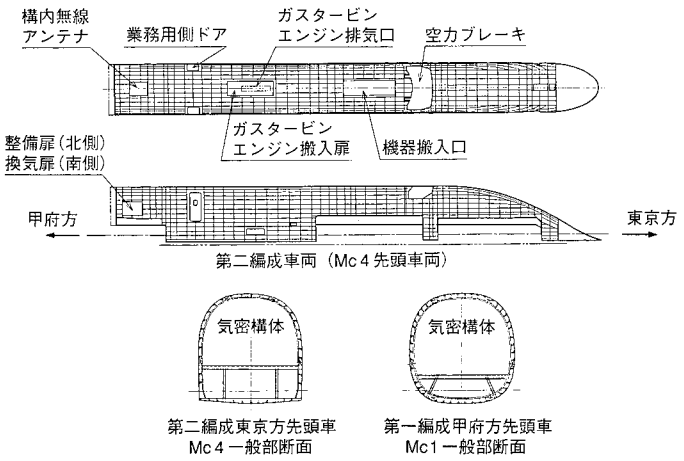



図2　第二編成先頭車両 Mc 4の構造様式と第一編成 Mc 1との断面比較
Structure of leading car of second linear maglev train Mc 4, and comparison of cross section between Mc 4 and Mc 1

#### 3．2．2　搭載機器配置

第二編成東京方先頭車両の搭載機器配置を図3に示す．連接部の貫通路から連結面までは気密構造であり，M 2貫通路部と同じ内装材が張られる．これ以外に内装材はない．大物機器としては，ガスタービン発電装置，PWM コンバータ，補助バッテリ及び誘導集電装置が搭載される．機器搭載に当っては，重心位置が適切となるように配慮しつつ，操作性，整備性が良好となるように配慮した．

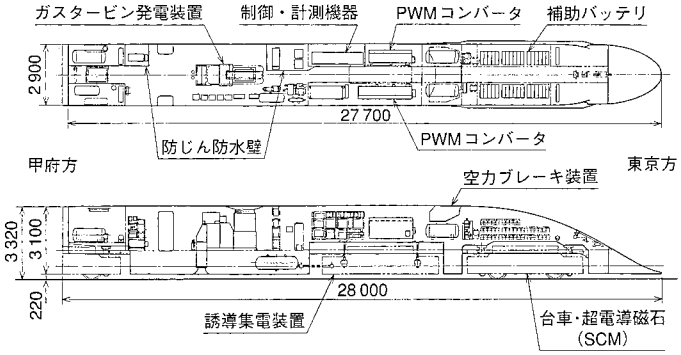



図3　機器配置
Equipment installation

搭載機器のうち，特にじんあい等の影響を受けやすい車上制御端末装置，冷凍機制御装置制御部等々については，車両室内に防じん室として二つの区画を設けその中に搭載した．

### 3．3　弾性支持台車

リニア車両は，台車に搭載される超電導磁石（以下，SCMと称す）と，地上に設置された浮上案内コイルとの間に働く電磁力を受けて浮上するが[2]，この浮上案内コイルの取付け不正や軌道の狂いにより車両に振動が発生し乗心地に影響を与えることになる．

第一編成車両で製作した非弾性支持台車では，SCMが台車枠に剛結合されており，車体支持空気ばねのみにより車体への防振を行っていた．これに対し第二編成車両では，乗心地向上を目的としてSCMを台車枠から分離し，両者の間に，従来の鉄輪台車の軸ばねに相当する空気ばねを追加した弾性支持台車を製作した．

SCM弾性支持台車の概要を図4に示す．

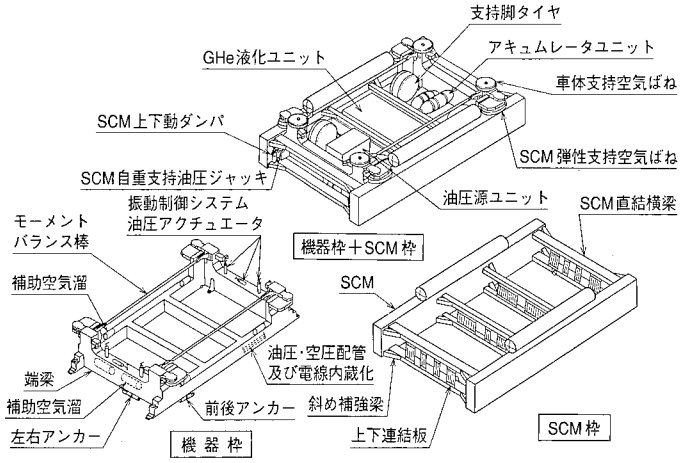



図4　SCM弾性支持台車
SCM suspended bogie

#### 3．3．1　SCM枠

SCMについては，4個のコイルの上部・下部を直結横梁(はり)により結合し，SCM単独の枠を構成した．SCMに過度の振動が生じると，局部的な発熱などが超電導現象を消失させる要因となるため，SCMの取付け剛性には十分配慮する必要がある．

このためSCM枠については，台車の限られたスペース内で，斜め補強梁や上下連結板を追加し，熱解析や電磁加振試験により評価を行った．

#### 3．3．2　機　器　枠

SCM枠に挟込まれる形で，SCM以外の装備品を搭載した機器枠を構成した．弾性支持台車では，SCM枠に挟まれる分，機器枠各梁の高さに制約を受け，特に前後方向の側梁については，低速車輪走行時等に生じる曲げに対し厳しい状況となる．このため，モーメントバランス棒の追加により，所要の強度，剛性を確保した．また，機器枠搭載備品を結ぶ油圧・空圧配管及び電線については，アルミリベットボックス構造の機器枠に内蔵化配置し，SCM枠と機器枠の相対運動の支障とならないようにした．

#### 3．3．3　SCM弾性支持装置

SCM枠と機器枠の上下方向については，楕(だ)円形空気ばねを介在させ，機器枠に一部内蔵化した補助空気溜(だめ)と合せて，浮上走行時の緩衝機能を持たせた．両枠の水平方向については，前後・左右アンカーによるリンク結合とし，SCMの前後推進力及び左右案内力を確実に伝達するとともに，SCM弾性支持空気ばねの上下運動を阻害しないものとした．さらに，両枠の上下方向間には，減衰力を可変とした上下動ダンパを搭載した．

### 3．4　空力ブレーキ装置

第二編成車両においては，東京方先頭車両Mc4用，長尺中間車M3用及び標準中間車M2用の3セット分の空力ブレーキ装置を製作した．

ブレーキ板及び油圧装置等の基本構成は，第一編成車両と同様であるが，山梨実験線第一編成車両の機能試験結果等の反映により，可動パネルの展開機構方式を変更し，空力ブレーキの動きと連動して展開する信頼性の高いリンク方式とした．

### 3．5　換気空調装置

第二編成車両においては，長尺中間車M3用換気空調装置と標準中間車M2用換気空調装置を製作した．第二編成車両用換気装置の系統図を図5に示す．

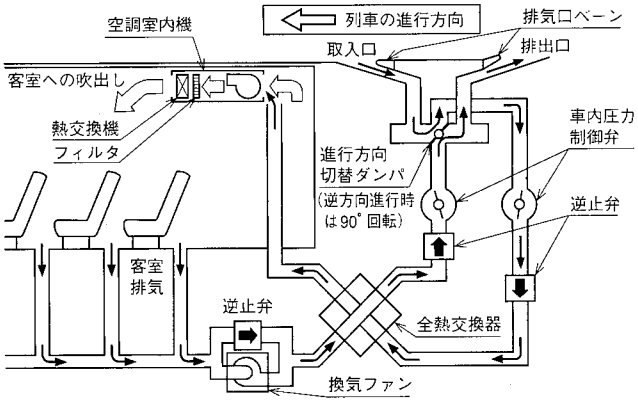



図5　第二編成車両用換気装置系統図
Schematic of ventilation system (second linear maglev)

以下に第一編成車両からの変更点を列記する．

(1) 全熱交換器の追加

長尺中間車は，標準中間車に比べ車体長が長く，乗客数も多い．長尺中間車の換気負荷を減らすために全熱交換器を搭載した．

(2) 空調装置のコンパクト化

第二編成車両の中間車は，客席直上の空間を極力広く取るため，空調室内機は客室肩部から中央通路部に配置することとした．室内機は，客室中央通路高さを確保するために，第一編成車両用に比べ薄型化を図った．

第一編成車両では床下配置とした空調制御電源機器のうち，インバータ類については防水仕様とし，室外機と共に機器室内

配置とした．また，室外機についても2系統の冷媒系を1系統とすることによって，コンプレッサ等を減らし軽量化を図った．

(3) 山梨実験線第一編成車両の機能確認試験結果の反映

各種確認試験結果から，発電機稼働時の主電源変動に対する保護機能，実車に合せた圧力制御範囲の適正化を行い，より信頼性の高いシステムを構築した．

### 3．6 ガスタービン発電装置

ガスタービン発電装置の主要構成品は，図6に示すガスタービンエンジン，ギヤボックス，発電機，消音パッケージ，燃料タンクであり，以下の特徴をしている．

(1) 航空機転用型ガスタービンを搭載した小型軽量パッケージ

航空機用を転用したガスタービンエンジンと発電機の採用等により，軽量化設計を実施するとともに，使用燃料である軽油に対応して燃料ノズル等の改良を加え，着火，燃焼の安定化を達成した．

(2) 急負荷変動に対する安定電源の供給

コンバータへのマイルド化機能（回転数が低下すると電圧を低下させる機能）の追加により，ガスタービンエンジンへの急負荷変動印加を防止し，安定電源の供給を実現した．

(3) 低騒音を特徴とした350 kWクラスガスタービン

排気ダクトの2重構造化等により，断熱材及び吸音材の使用を必要最小限とし，低騒音化，表面温度の抑制並びに軽量化を達成した．

なお，ガスタービンエンジンは，当社MH 2000ヘリコプタ用エンジンとして開発されたエンジンをベースとしたものである．

### 3．7 振動制御システム

リニア車両は高速で走行するため，走行中の振動低減が重要な技術課題の一つとなっている．そのような背景の下，弾性支持台車に搭載し，車両の上下及び左右方向の乗心地を改善する振動制御システムを開発した．システム構成の概要を図7に示す．

振動制御システムは，各台車に1組搭載され，上下方向4本，左右方向2本の合計6本の油圧アクチュエータとそれらを制御するバルブユニット，アクチュエータと同じ位置に取付けられた加速度センサ並びに車上搭載コントローラから構成されている．油圧アクチュエータは，従来のパッシブダンパと同じ位置に搭載し，振動制御オン時にはアクティブダンパとして，振動制御オフ時にはパッシブダンパとして機能するようになっている．また，バルブユニットは磁場の影響を考慮し，アクチュエータとは一体化せず，台車の中で最も磁場の小さい位置・方向に搭載した．

本システムは今後，台車，車体と組合せた状態での機能確認，実車振動特性に基づくチューニング作業を経て，制御則の最適化を図る予定である．

### 3．8 編成長調整機構付連結器

リニア車両は，超電導磁石による浮上走行を行うが，この際，推進効率の向上を図るために，車体側コイルと地上側コイルのピッチを最小限とする必要がある．これに対し，アルミ製車体は，周囲温度変化（−20～＋40℃）により，一車体当り±15 mm，16両編成を想定した場合±240 mm，全長が変化し，地上側コイルとのピッチのずれを生じてしまう．本問題を解決するために，車体間連結器を長さ可変式とした編成長調整機構を製作した．

連結器結合金具の根元にジャッキスクリュ機構を追加し，長さを可変式とした．動作荷重は約6 tfで，ジャッキスクリュの回転に大トルクを要するため，油圧モータにより直接駆動することとした．

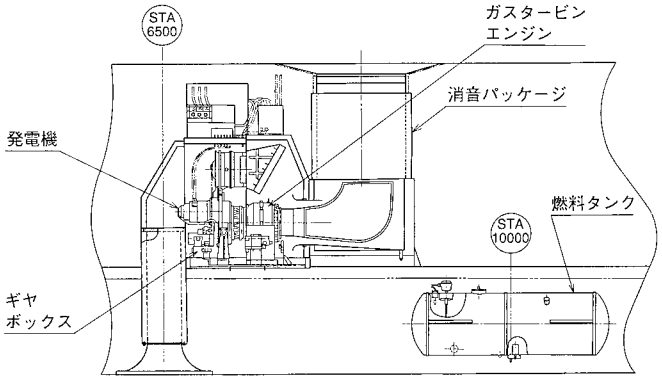



図6 ガスタービン発電装置
Gas turbine generator system

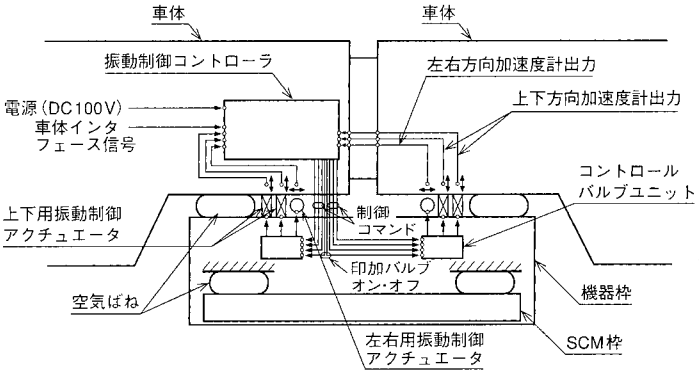



図7 振動制御システムの概要 振動制御システムの構成を示す．
Outline of vibration control system

## 4．む す び

山梨リニア実験線車両は地上約10 cmを試験最高時速550 kmで浮上走行し，時速500 kmの高速ですれ違い走行を行う．

リニア車両は浮上するため航空機と同様の軽量化が要求されるとともに，低抵抗，低騒音も要求される．

したがって航空機の各種技術が有効に活用できるとともに，より幅広い要素技術が要求される．

このため，第二編成車両の開発，製造については，当社の技術を結集させた．リニア車体，台車，空力ブレーキ，編成長調整機構付連結器は名古屋航空宇宙システム製作所を中心に開発し，油圧関連は名古屋誘導推進システム製作所（名誘）の協力を，換気空調システムはエアコン製作所，名古屋研究所，技術本部エレクトロニクス技術部の協力を，振動制御システムは高砂研究所，エレクトロニクス技術部の協力を得た．ガスタービン発電装置，台車油圧システムは名誘が中心となって開発を進めた．

21世紀の日本の新しい輸送システムの開発に携われることは大変な喜びであり，今後共このシステムの開発に全力で取組んでいく所存である．

### 参 考 文 献

(1) THE LINEAR TECHNOLOGY PRESS，東海旅客鉄道(株)発行カタログ（1996）
(2) 山梨リニア実験線，(財)鉄道総合技術研究所発行カタログ（1996）
(3) 超電導リニアモーターカーMLX 01，東海旅客鉄道(株)発行カタログ（1996）

# マニラ市EDSAライトレールシステムの建設

## Construction of EDSA LRT Turnkey System in Manila City

三原製作所　寺林範司[*1]　渡辺芳治[*2]
島村俊一[*1]　冨川史雄[*3]

フィリピン マニラ市に建設中のEDSAライトレールシステム建設プロジェクトは，国内メーカとして初めての土木工事，システム全体の建設を含む海外フルターンキー案件である．1999年の開業を目指し，現在設計は終盤に入っており，工事は1996年10月に着工し，ガイドウェイ，駅の土木工事が進められている．本報では，トータルシステムとしての仕様概要，各サブシステムの仕様概要，建設現況を述べる．

The EDSA LRT SYSTEM is now under construction in Manila in the Philippines. This is a full turnkey project which includes civil works such as the guideway, station building and all electrical and mechanical works that are firstly challenged as a Japanese manufacturer. At present the engineering is approaching the final stage and the construction works have been proceeding energetically since October 1996 with the target for handing over to the customer being 1999.

### 1. まえがき

EDSA（Epifanio De Los Santos Avenue）はメトロマニラの背骨ともいうべき主要幹線道路であり，片側5～6レーンの道幅に一日当り30万台の車両が100万人以上の利用者を乗せて行交っている．しかしながら最近の急速な都市化に伴うEDSAの渋滞は，メトロマニラの深刻な問題となっている．

EDSAの交通問題解決の決め手として打出された案が大量輸送機関としての鉄道建設であり，DOTC（フィリピン運輸通信省）はその開発権をMRTC（Metro Rail Transit Corporation）に与えた．

本鉄道建設はEDSA LRTプロジェクトと呼ばれ，MRTCはシステム建設を行い，その後25年間にわたりDOTCに対して，システムをリースするBLT（Build, Lease and Transfer）プロジェクトである．ただし，“運転”はDOTCが直轄する．

このような背景の下，当社は住友商事とグループを組み，ターンキープロジェクトとしてMRTCに対して土木工事を含めた総合システム建設を請負っている．

### 2. プロジェクト概要

EDSA LRTプロジェクトは2期にわたる工事が予定されている．今回分はPhase Ⅰと呼ばれる第1期工事に当り，TAFT AVENUE駅からNORTH AVENUE駅までの路線長16.9 km区間及びNORTH AVENUE駅東に車両基地が建設される．Phase ⅡではNORTH AVENUE駅からMONUMENTO駅までの5.2 km区間の延伸が予定されている．図1に路線図を示す．

Phase Ⅰ完成期における供給輸送量は，平日において約45万人/d，約28 000 pphpd（ピーク時間における1時間当り片側輸送量）を計画している．車両の運転は複線上を端末駅間にて折返すピンチドループ運転方式であり，一周走行時間は約60 min，最小運転車頭間隔時分は150 s，標準列車編成は3両を計画し，手動運転システムでありながら，高密度運転を目指す．

さらにPhase Ⅱにおける最小運転車頭間隔時分は120 s，標準列車編成4両が計画され，Phase Ⅰではこの拡張に対応可能な駅プラットホーム長さ，OCS（Overhead Contact System）設備なども盛込まれている．

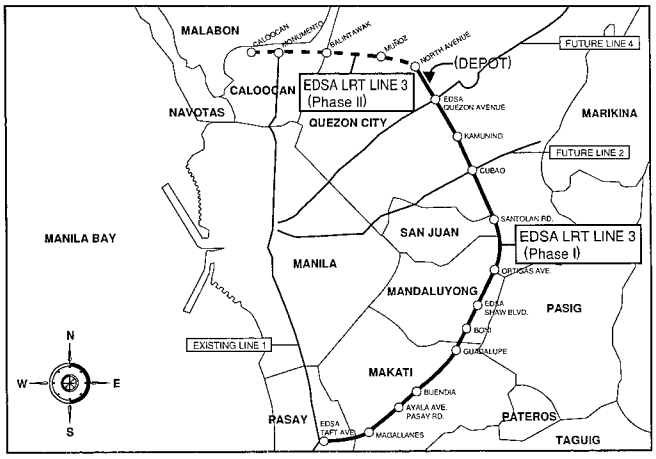



図1　路線図　EDSA LRT（LINE 3 Phase Ⅰ）はEDSA TAFT AVE.から北のNORTH AVENUEまでである．
Route map of EDSA LRT（LINE 3 Phase Ⅰ，Ⅱ）in Manila City

### 3. サブシステム仕様概要

#### 3.1 ガイドウエイ

ガイドウェイは一部ORTIGAS AVENUE駅付近を除きEDSAの道幅の中央に位置し，複線構造で標準幅10.5 mを占める専用軌道で自動車道路との踏切り交差はない．その構造は既存自動車道路との交差を考慮し，高架部（Elevated）が48％，地上部（At Grade）が41％，トンネル又はアンダパス構造が11％を占める．

標準軌道断面を図2に示す．地上部では自動車道路との隔絶のためにコンクリート製の仕切り壁が設けられ，上部にフェンスが設置される．両仕切り壁内にはOCS柱，車両火災時等のための避難通路，配線用トラフ，排水設備等が設けられている．高架部の支持柱は深層杭（くい）で，上部構造は標準区間で3径間連続PC桁（けた）を採用している．

GADALUPE駅とBONI AVENUE駅の間を流れるPASIG川をまたぐ既存の自動車道路橋の上に鋼構造のGADALUPE鉄橋が建設される．本鉄橋はランガー橋で美しい放物線形状を成し，総重量735 t，全長135 mである．

*1 機械・プラント技術部交通システム設計課主査
*2 機械・プラント技術部建設課主務

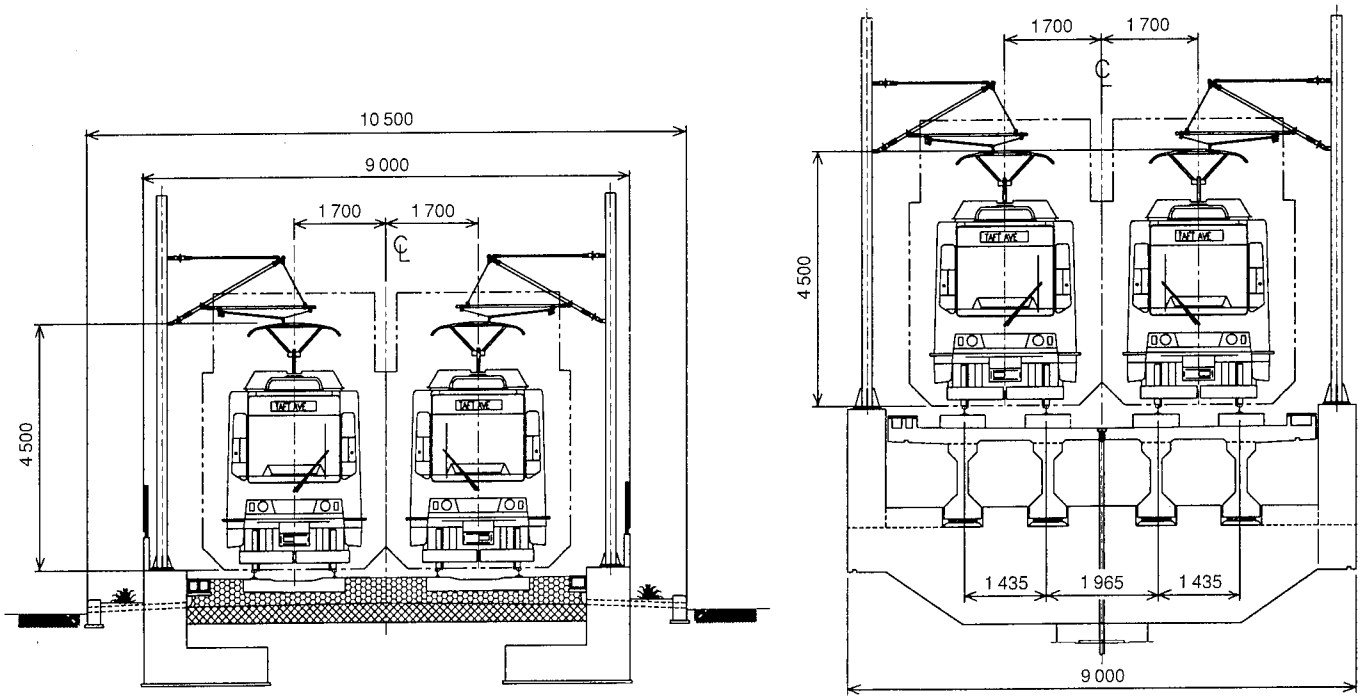



図2　標準軌道断面図　地上部及び高架部それぞれのOCS柱がある部分の標準幅の軌道断面を示す.
Nominal sectional view of at-grade and elevated track

### 3．2　トラック（軌道）

軌間は1 435 mmの標準軌を採用している．地上部はバラスト床上にコンクリート製の枕木を敷設する．一方，高架部はコンクリート床（プリンス）上に直接レールを締結する直結式軌道を採用する．レールはUIC 54レールである．

### 3．3　駅

全線の要所に13の駅が設置され，乗客の利用に供される．構造的には接続してくる軌道構造に伴い高架駅と地上駅がある．プラットホームは立地条件に伴い相対式プラットホームと島式プラットホームがある．各駅間距離は平均1.34 kmで，最小約800 m，最大2.3 kmである．

高架駅においては，歩道から駅へのアクセスとしてエスカレータ，階段及び交通弱者の利便を考慮しエレベータが設置される．

改札口におけるプラットホームへの出入り及び料金収集のためには，プリペイド磁気カードを利用した自動改札システムが採用され，効率良い乗降を提供する．

プラットホーム部分は原則として，障害物等のない平たん構造となっており，プラットホーム端から最低2 m幅のスペースが確保されている．乗降客用設備として通信設備，CCTV，案内放送設備及び各種表示板が設けられる．

### 3．4　車両基地

車両の夜間における留置，メインテナンス両方の機能を備えた車両基地が，NORTH AVENUEとEDSAのコーナに当る16 haの三角形の用地に建設される（このうち，車両基地は8.5 haを占め，他用地は本線からの入出庫線及び商業開発用地に用いられる）．

車両基地は土地の有効活用を図るため，地下構造とし，EDSA道路面よりも数m下がった高さに設置される．車両基地の上には厚いコンクリートで建設された人工地盤が設けられ，その上部に一大商業開発施設が建設される予定である．車両留置容量は最大120両（ただし，Phase Ⅰでは90両）が確保される．

### 3．5　信　号

信号設備は列車運行に関する保安設備であり，この設備により安全な列車間距離を保ち，危険なエリアへの列車進入を回避する．

またこの設備はフェイルセーフなシステムとなっているため，故障時にも必ず安全サイドに状態は移行する．

本設備は以下の4装置から構成される．

(1) 列車検知装置

機能：閉そくごとに，本線上の列車の存在を検知する．

方式：レールを電気回路の一部に用い，送信機から受信機間に流れている可聴周波数信号が車両の存在により短絡され，在線が検知される．軌道回路ごとに絶縁物を入れない無絶縁軌道回路方式を採用し乗心地を向上させている．

(2) ATP装置

機能：各閉そくごとに，あらかじめ決められた許容速度及び列車在線状況から各車両の走行許容速度を車上に伝送し，運転士に知らせる．誤ってこれを超えた場合には自動的にブレーキが作用する．

ATP信号種別：65 km/h，40 km/h，30 km/h，15 km/h，$0_1$（0 km/h），$0_2$（無信号）

(3) 連動装置

機能：列車検知装置からの信号を基に次に車両が進行すべき閉そく区間が進入可能かどうかを判断する．地上信号としては線路脇の信号機に青又は赤を点灯させ，また車内信号としては上記ATP信号を表示させ列車進路を設定する．

冗長方式：待機二重系

(4) CTC装置

機能：NORTH AVENUE駅に設けられた中央制御室にて列車在線状況，電力機器状況の監視及び転てつ機のスイッチ操作を行う．

### 3.6 通　信

通信は次の五つの装置から構成される．

(1) 自動電話交換装置（PABX）

EDSA LRT システムの電話交換機，150 回線の容量を持つ．

(2) 無線通信装置

中央と列車運転手との交信用システムであり，本線用 2 チャネル，車両基地用 1 チャネルを提供する．

(3) 駅内案内放送設備（駅 PA）

各駅の駅務員から乗客及び関係職員への放送用設備．車両基地にもメインテナンス連絡用放送設備が設置される．

(4) 車内案内放送設備（車内 PA）

列車運転手が乗客に対して放送するための設備．本設備は同一列車内の運転手と車掌間の内部間連絡も兼備える．

(5) CCTV 設備（監視カメラ設備）

駅 CCTV 設備は，駅務員及び運転手の乗客の動向監視用．プラットホーム，エレベータ等にカメラが装備される．車両基地 CCTV 設備は，車両基地内列車の走行等の確認用．

### 3.7 電力供給設備

電力供給システムは，マニラ市の電力会社から 34.5 kV にて，全線 8 箇所に設けられた変電所にて受電する．これを次の二つのサブシステムに給電する．

(1) 車両への動力供給サブシステム（T 系）

(2) 補助機器，照明等への設備電力供給サブシステム（A 系）

全体システム構成を**図 3** に示す．

主要機器容量及び台数を**表 1** に示す．

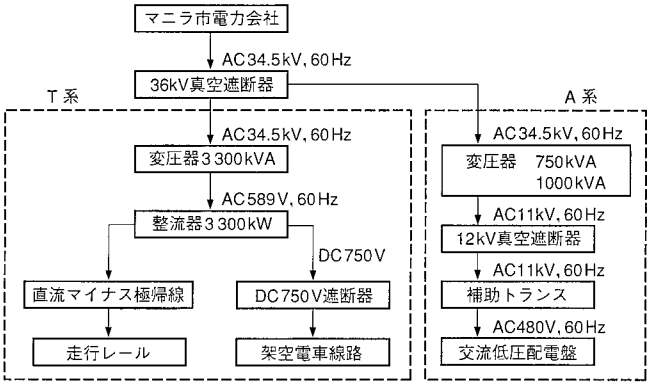



**図 3　電力系統図**　マニラ市電力会社から受電し，車両駆動及び駅などの設備に配電する．
Schematic diagram of electric power supply system

**表 1　電力主要機器一覧**
Main feature of power supply equipment

| 機　器 | 容量/台 | 電　圧 | 設置台数 |
|---|---|---|---|
| 変圧器／整流器ユニット | 3 000 kW | AC 34.5 kV/DC 750 V | 9 |
| 変圧器 | 1 000/750 kVA | AC 34.5 kV/11 kV | 8 |
| 補助変圧器 | 1 500 kVA | AC 34.5 kV/480 V | 2 |
| 補助変圧器 | 400/300 kVA | AC 11 kV/480 V | 13 |
| 緊急用バッテリ電源 | 50/30/20 kVA | AC 220 V | 14 |
| バッテリ充電器 | 200/150/48 kA | DC 110 V | 14 |
| 緊急用発電機 | 550/150 kVA | AC 480 V | 2 |

電車線路は架空電車線路方式で，150 mm² 2 本の懸垂式メッセンジャ線から吊り下げられたドロッパに支持された 170 mm² のトロリ線及び 250 mm² 2 本のフィーダから構成される．一部駅間ではこれに加えて更に 250 mm² 2 本のフィーダが増強されている．電車線用柱は図 2 のように上り／下り線路の両端で，30～60 m 間隔に設置される．トロリ線を通じて給電された電力は，車両に供された後，走行レールを通り，変電所マイナス極へと戻される．

### 3.8 車　両

車両は車体中央 2 箇所に連接部を有し，同部に連接台車が装備され半径 20 m の曲線通過が可能な市街地走行仕様となっている．駆動は IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を用いたチョッパ制御装置で 8 台の直流電動機を駆動する．ブレーキは常用ブレーキでは電気ブレーキを用い，停止及び駐車ブレーキとしてディスクブレーキが作用する．なお，電気ブレーキは通常回生ブレーキとして働くが，架線電圧が最大運転電圧（DC 900 V）に達した瞬間，発電ブレーキに切替える方式を採用しており，地上回生は行わずシステム内のみの回生が行われる．非常ブレーキは電気ブレーキに加えてレールブレーキが作用する．

主要仕様を**表 2** に，外形図を**図 4** に示す．

## 4. 建 設 現 況

1996 年 10 月に本プロジェクトの工事は開始され，1997 年 10 月現在，雨季という条件の中ではあるが，急ピッチで進められている．**図 5** 及び**図 6** に建設現場の状況を示す．

建設工事現場は次のような数字が特徴的に示すように市街地にあって細長く，重量，数量的にも大規模である．

- 建設現場：約 17 km 及び 8.5 ha の車両基地
- 打設コンクリート量：15.4 万 m³

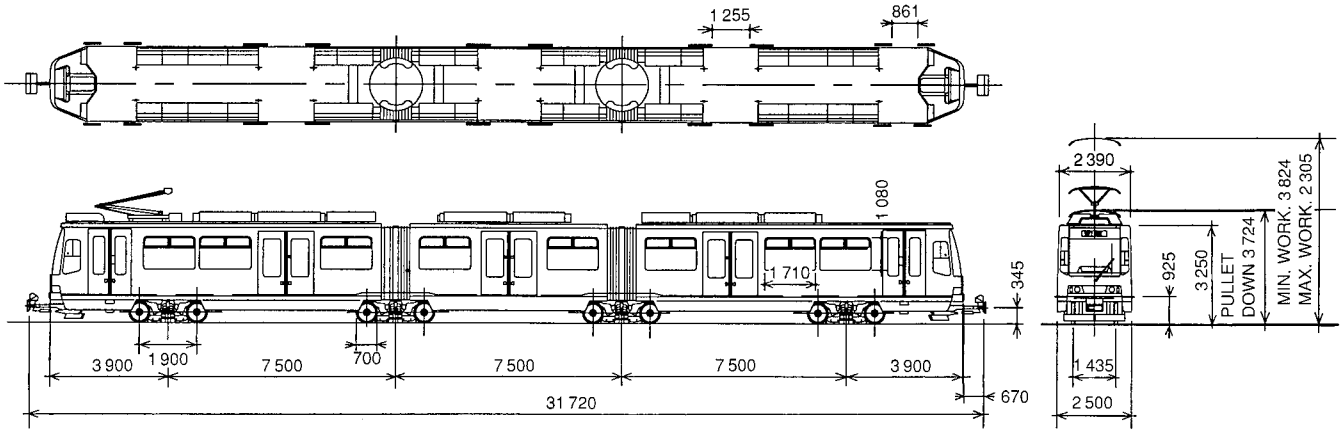



**図 4　車両外形図**
Eight axle DC motor driven Light Rail Vehicle

表2　車両主要仕様
Main data of vehicle

| | |
|---|---|
| 車両数 | 73両 |
| 形　式 | 8軸4台車全軸駆動，3分割車体構造（二つの連接部あり） |
| 駆動方式 | チョッパ制御（IGBTトランジスタ）<br>64.5 kW 直流分巻電動機×8台 |
| ブレーキ方式 | 回生／発電切換式電気ブレーキ<br>レールブレーキ<br>ディスクブレーキ |
| 運転制御 | 運転士による手動運転<br>力行7段，ブレーキ8段切換（含，非常ブレーキ） |
| 最高速度 | 65 km/h |
| 最小通過曲線半径 | 20 m |
| 供給電源 | DC 750 V＋150 V<br>−250 V |
| 乗　客 | 274人（定員），394人（満員） |
| 車両寸法 | $L$ 30 300×$W$ 2 500×$H$ 3 550 mm |
| 車両重量 | 46.8 t（空車），70.4 t（満車） |

図5　工事状況1　　I型PC軌道桁の上架が始まったガイドウェイ（Santolan地区）を示す．
Guideway under construction at Santolan area

● I型PC軌道桁：約2 000本

EDSAは前述のようにマニラ市の中でも取分け交通渋滞が激しく，その中央分離帯が建設現場であることから，“交通管制”という都市交通プロジェクト特有の難しい要素がある．

(1) 工事のために与えられる使用可能な道路幅には制限があり，大形重建設機械の搬入・搬出は夜間に制限される．

(2) 工事に使用しない他レーンを行交う自動車との事故を避けるための一時隔離フェンスを設置し，事故の発生を抑えるとともに内部で働く作業者の安全を確保する．

客先も，工事に伴う更なる渋滞発生から起る市民感情緩和のため工事現場に，う回路を事前に広報する各種広報板を設置するなど努めている．

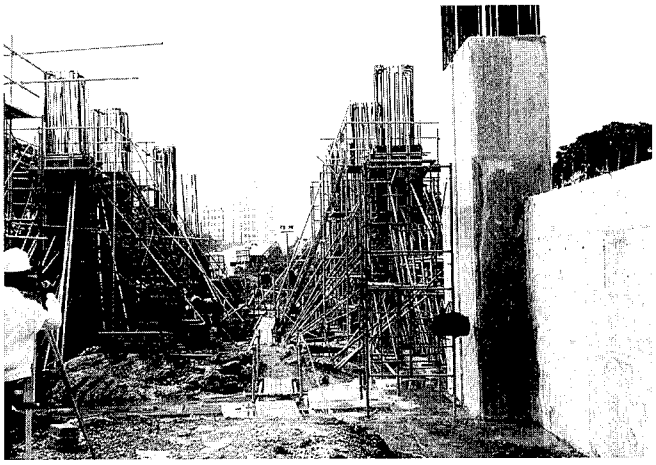


図6　工事状況2　　基礎工事中のKamuning駅を示す．
Kamuning station under footing and pier construction

さらに，地下には水道管，下水管，頭上には電線，電話線など様々なユーティリティがある．したがって，まずこれらといかに干渉しないように進めるかあるいはやむを得ない場合には移設を行うということに常に対応しながら進められている．また，設計段階から同じような構造物を建設する場合でも場所によって建設工法を変更するという対応処置も採られている．

建設現場での災害は一般大衆を巻込む大惨事になるため，安全及び交通管理計画は非常に重要である．この点に関しても，事前検討を十分に行い，様々な危険予測を行った上でその対応を行うという活動を徹底し，建設工事開始以来無災害を継続中である．

一方，電力，信号，車両基地据付けメインテナンス用各機器の製作は各製作メーカにおいて盛んに進んでおり，一部機器は工場テストを迎える段階に差掛っているものもある．

## 5. あ と が き

現在，土木工事区間は全路線の70％に達し，急ピッチで進められているプロジェクトの現況と，設計が終盤を迎えたシステムの主要仕様を紹介した．

本プロジェクトはフィリピンにとって国家プロジェクトであるとともに，その成果は直接，市民の足の利便性向上につながる市民生活直結型案件である．また，工事現場そのものが首都メトロマニラの中心にあり，市民の熱い期待と同時に，注視を受けながら進める意義と責任は大きい．1999年にフィリピンの真っ青な空の下，マリンブルーと白のツートーンカラーに彩られた車両がプラットホームを滑り出ていく日を夢見，プロジェクトチームの総力を結集し，完遂に向けて努力していく所存である．

# 空港向け無人運転車両—香港新空港向けAPM車両—

## Automated People Mover for Airport

三原製作所　持留裕之[*1]　小泉理夫[*2]
高橋益夫[*3]

近年，空港規模の拡大に伴い，空港内の旅客移動の手段として軌道系を始めとする輸送システムの設置が不可欠となってきている．このような環境の中，当社は香港新空港向けに無人で自動運転されるゴムタイヤ車両方式のAPMシステム（Automated People Mover System）を受注した．その中心であるAPM車両は，国内の新交通システム車両を基本としている．24時間連続で全自動無人運転される空港内輸送システムへの適用に当っては，自動列車制御装置（ATC）の構築，保安機能の向上，停止精度の向上等の課題があった．その各々について，本報に概説する対策を施し設計・製作を行った．さらに，完成したAPM車両を社内試験線で試験・検証した結果，所期の目標を達成していることを確認した．

Recently, as the size of each airports has grown a track transportation system inside the airport for passengers has become indispensable. Under such circumstance, MHI have received an order for APM system, which is a completely automated rubber tired vechicle, to be installed at the new airport in Hong Kong. The core of the APM vehicle system is designed based on the vechicles of the domestic (Japanese) new transportation system. In order to apply the system to the airports, we had various issues to solve including automatic train control system improvement of safety functions, stopping accuracy and so on. In this report, we explain outline of the work we did during design and manufacture stages. We have tested the completed APM vehicle on our test track. As a result of the test, we confirmed that the vehicle had come up to the target level.

### 1. まえがき

近年，東南アジア諸国を中心に世界各国でハブ空港の新設及び既存空港の拡充が盛んである．空港規模の拡大に伴い，空港内及びその周辺での移動旅客の増加及び旅客の移動距離が長くなる傾向にある．そのため，これらの大型空港においては，軌道系を始めとする輸送システムが不可欠となってきている．

当社は，空港向け輸送システムの第一号として香港新空港向けAPMシステム（Automated People Mover System）を受注した．現在，既にシステム全体の工事を終え，1998年春の開港・運用開始に向けて最終調整中である．本報では，そのシステムの中心となる全自動無人運転車両（以下，APM車両と称す．図1参照）について概要を報告する．

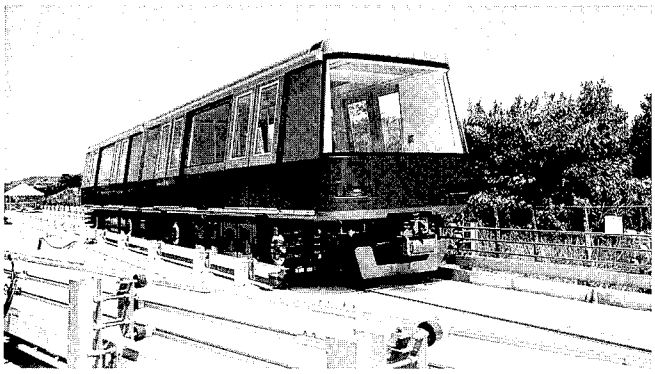


図1　車両外観　社内試験線で全自動無人運転中のAPM車両を示す．
Vehicle on MHI test track

### 2. APMシステムの概要

香港新空港向けAPMシステムは，空港ターミナルビルと遠隔のゲートを結び，航空機乗降客の空港内移動に供されるものである．本APMシステムは，表1に示すように車両を中心に運行管理装置，信号装置，通信装置，自動運転装置，電力設備，軌道，駅設備，検修設備のサブシステムから構成されている．今回の契約は第一期工事で，2駅，駅間約700 m複線の路線で，全区間地下トンネルである．システムの輸送力は，最大5 270 PPHPD（Passenger Per Hour Per Direction）である．

表1　APMシステムの構成
Sub-system of APM system

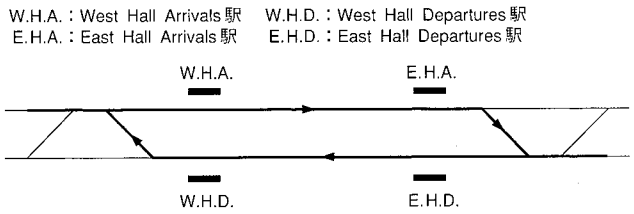
| サブシステム | 主たる構成要素 | 機　能 |
|---|---|---|
| 車　両 | 車　両 | 輸送単位 |
| 運行管理装置 | 運行管理装置 | 全システムの運用・管理 |
| 信号装置 | ATP/TD装置 | 信号・保安機能 |
| 通信装置 | ATO伝送装置，LCX伝送装置 | 地上—車両間の通信 |
| 自動運転装置 | 車上ATP/ATO装置，駅ATO装置 | 車両の自動運転 |
| 電力・電路設備 | 変電設備，電車線 | システム・車両への電力供給 |
| 軌　道 | 走行路面，案内軌条，転てつ器 | 車両の走行路線 |
| 駅設備 | プラットホームドア | 乗降客の安全確保 |
| 検修設備 | メインテナンス機器 | 車両のメインテナンス設備 |

注）ATP/TD：Automatic Train Protection/Train Detection

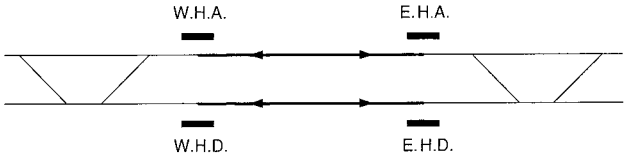
車両の運行は，自動列車制御装置（ATC）による全自動無人運転である．ATC装置は，ATP，ATO，ATSで構成されている．ATPは，車内信号現示方式，チェックイン・チェックアウト方式を採用し，SSI装置によるルートコントロールを行っている．ATOは，車上演算方式で定位置停止機能を持っている．また，車両のドア及びプラットホームドア協調制御のための駅ATO装置，車両と地上設備とのATOデータ伝送装置を備えている．ATSは，システムの運転指令，運行監視，運行記録の機能を持ち空港内の中央指令室に設置される．指令卓はタッチスクリーン式のCRTオペレーション方式とし，緊急時を除き1人のオペレータにより運転管理が行えるように設計している．

空港が24時間運用されるのに伴い，APMシステムも24時間運

*1 機械・プラント技術部交通システム設計課
*2 機械・プラント技術部次長




(a) 通常時のピンチドループ運行モード




(b) 閑散時のシャトル運行モード

**図2　運転モード**　APMシステムの基本的な運行モードを示す．
System operation mode

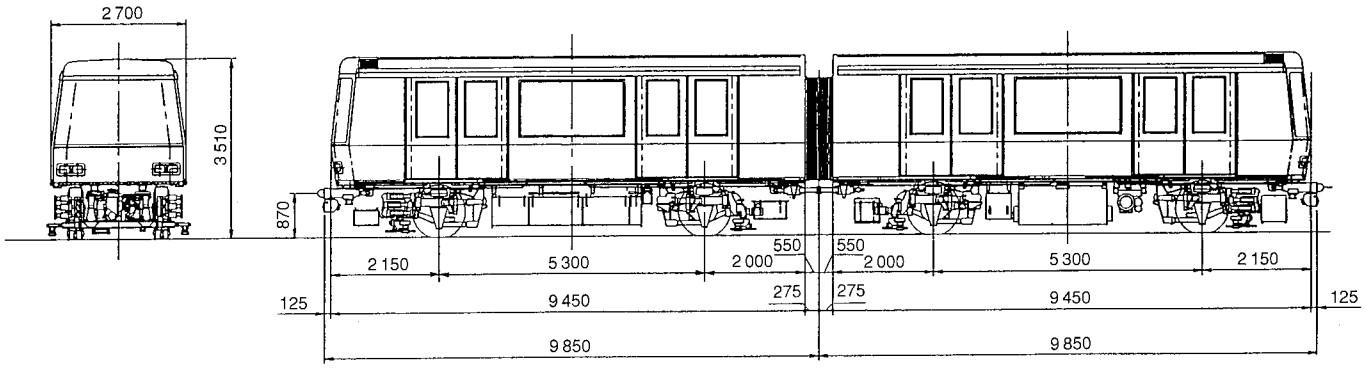



**図3　車両編成**　車両は2両固定編成としている．
Configuration of vehicle

行される．一方では，時間によって輸送需要に変動が生じる．これらに対し，ピーク時間帯には4編成を線路に投入しループ運転し［図2(a)参照］，深夜等の閑散時間帯には2編成でデマンドによるシャトル運転する［図2(b)参照］ように運行モードを設定した．さらに，車両，電力設備，軌道等のサブシステムの保守や故障に対処するため，このほかに5つの運行モードを設定した．これらの運転モードは，いずれもATCによる全自動無人運転が可能であり，投入車両数の変更を始めとする運行モードの変更は，中央運転指令室でのCRT操作により自動的に行えるようになっている．このような柔軟な運行モードの設定・選択と各サブシステムの信頼性向上により，APMシステムとして高い稼動率（FTA結果99.9％）を達成できるように計画されている．

注）ATC：Automatic Train Control　ATS：Automatic Train Supervision
ATP：Automatic Train Protection　SSI：Solid State Interlocking
ATO：Automatic Train Operation　FTA：Fault Tree Analysis

## 3．APM車両の開発

### 3．1　APM車両の概要

APM車両は，これまでに納入してきた国内のゴムタイヤ式新交通システム車両を基本に，空港内旅客輸送に適合するように改良，設計変更を加えたものである．車両の編成図を図3に示す．また，車両の主要諸元を表2にまとめる．

編成は2両固定編成で，最大3編成まで併結し全自動無人運転が可能である．車両寸法は，国内新交通システム車両を基本に，システムの輸送量，車内居住性の向上等を考慮して大型化し，編成当りの定員を152名とした．

車体は，軽量化のためアルミニウム合金溶接構造とした．台車は側方案内方式のステアリング台車で，駆動装置を持つ動台車と駆動装置を持たない従台車があり，各車両に動・従台車を1組ずつ装備している．車両は，このたび新設した社内試験線において，形式試験と全自動無人運転での800 km連続走行を行い，その性能と信頼性を確認した．

### 3．2　車上ATCシステム

車上ATCシステムの構成を図4に示す．

**表2　車両の主要諸元**
Specification of vehicle

| 項　目 | 諸　元 |
|---|---|
| 編　成 | 2両固定編成 |
| 定　員　(人) | 76（内座席5）/両×2両 |
| 自　重　(tf) | 11.8/両 |
| 車両寸法　(mm) | 長さ9 850×幅2 700×高さ3 510 |
| 案内方式 | 側方案内2軸4輪ステアリング方式 |
| 電気方式 | 3相交流600 V，50 Hz |
| 軌　間　(mm) | 軌間1 700，案内面間隔2 800 |
| 車両性能 | 最高速度 70 km/h<br>加速度　3.5 km/(h·s)<br>減速度　常用最大 3.6 km/(h·s)<br>非常　5.4 km/(h·s) |
| 制御方式 | 可逆式サイリスタレオナード制御<br>（応荷重装置・回生ブレーキ付き） |
| ブレーキ方式 | 電気指令式電磁直通空気ブレーキ<br>（保安ブレーキ，駐車ブレーキ付き） |

#### 3．2．1　自動運転装置

自動運転装置は，国内新交通システムの方式に準じ，以下の装置で構成している．

(1) ATO車上装置

ATP受信器から与えられるATP信号に基づき，目標運転速度の設定を行い定速運転制御を行う機能と駅ATO制御車上装置で受信した地点信号を基に，定位置停止を行う機能を有している．本APM車両では，3.4節に示すように定位置停止精度向上策を講じた．

(2) 駅ATO制御車上装置

各駅ごとに設置された地上装置からのドア制御指令を車上アンテナで受信し，さらに駅部において車上から列車の制御状態信号を送信する機能を有している．

(3) ATOデータ伝送車上装置

中央指令所と列車間で交信し，中央指令からの制御指令を各種装置に伝送するとともに，車上からは各装置の動作と故障等の状態情報を中央指令へ送信する機能を有している．

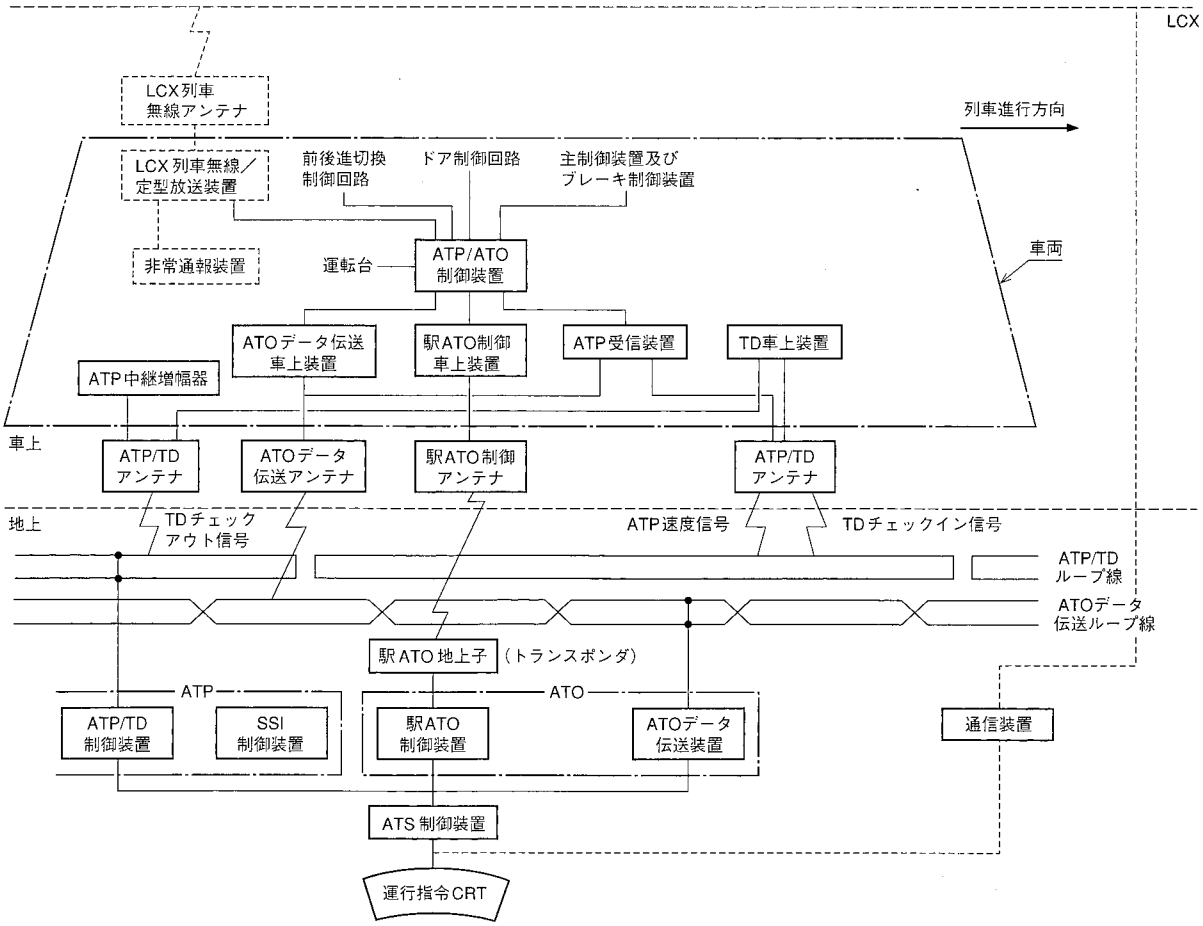



**図4　車上ATCシステム構成**　車上ATCシステムの構成と地上ATCの関連を示す．
Block diagram of on-board ATC system

### 3．2．2　保安装置

保安・通信装置は，国内新交通システムに準じている．

(1) ATP装置

地上に連続的に設置された誘導ループに送信される制御速度信号を車上アンテナで連続的に受信解読し，ATP制御装置に対し列車の速度制限や停止等の情報を与える方式である．さらに，本APM車両では，従来，駅ATO装置等の機能としていた車両の進行方向の切換及びドアの開閉サイドの区別についても，保安性向上のためATP装置の保安機能に組入れた．

(2) TD車上装置

ATP地上装置に対し列車の在線位置情報を与えるもので，連続送受信式である．

### 3．2．3　通信装置

列車無線は，LCX方式を採用している．また，非常時には乗客が中央司令所と連絡・通話ができるように，各車両に2箇所非常通話装置が設けてある．

以上の車上ATCシステムについては，社内試験線において，地上―車上結合試験及び自動運転走行試験を行い，その機能と性能について所期の目標値を達成していることを確認した．さらに，地上系を含めたATCシステム全体のソフトウェアに対して，(財)鉄道総合技術研究所からIEC 1508［Functional Safety：safety-related systems (part 1 to 7)］に準拠した安全審査を受け，その安全性について確認をいただいた．

## 3．3　オーバスピードプロテクション

本APMシステムでは，運転保安システムとして地上系保安システムのATP方式を採用した．さらに，運転保安システムの冗長性の向上と列車運転間隔の短縮のために，新たに車上系の運転保安システムとして，オーバスピードプロテクション（Over Speed Protection）機能を追加した．**図5**にオーバスピードプロテクションの概念図を示す．

図5に示すように，車両の走行する路線は保安上一定の区間（閉そく区間）に固定分割され，その各々に対し列車間の相対位置関係及び曲線等の路線上の制約に基づきATP信号（制限速度信号及び停止信号）が与えられる．車両は，地上側から受信したこのATP信号に従って自動運転される．先行車両の後方区間には，停止信号（0信号：01あるいは02）が与えられる．後続車両が01信号区間に進入した場合，車両はATPブレーキ［常用最大減速度3.6 km/(h·s)］で減速・停止し，また，02信号区間に進入した場合，車両は非常ブレーキ［減速度5.4 km/(h·s)］で減速・停止するように機能を設定している．また，車両が速度信号に従って定速走行中にATP信号を超えた場合，常用最大ブレーキによりATP信号以下まで減速される．これらの保安機能は，地上系のATPによるものである．しかしながら，このような固定閉そくに基づくATP方式では，先行車両と後続車両の間に常に車両のブレーキ性能から求められる固定の保安間隔を設けることになり，結果として高密度運行の妨げとなる．

これに対し，本システムでは図5に示すように地上側からのATP信号の外側に非常停止パターンを設定した．これは，ATP 01信号区間に進入後，車上の制御装置に非常停止パターンを発生させ，このパターンに対し自車の走行距離と速度からこのパターンとの抵触の有無を照査し，抵触した場合，非常ブレーキを作動させる機能である．非常停止パターンは，ATP 0信号区間で車上ATP制

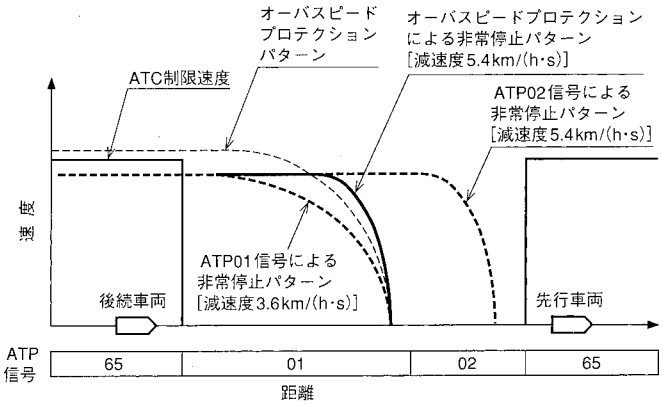



**図5　オーバスピードプロテクションの概念**　ATP 01信号区間においてオーバスピードプロテクションパターンに抵触した場合でも，所定の停止位置に非常停止する．オーバスピードプロテクションを設けた場合ATP 02信号区間は省略される場合もある．
Concept drawing of over speed protection

御装置内に発生させ，01信号により車両が所定のATPブレーキで減速しなかった場合でも，非常ブレーキによってATPブレーキによる所定の停止位置に停止するように設定している．同時にまた，ATP制限速度信号区間においては，制限速度上にさらに絶対制限速度ラインを設定し，車両速度がこのラインを超えた場合，非常停止する［減速度5.4 km/(h·s)］機能も付加した．これらの車上制御系による運転保安システムをオーバスピードプロテクションという．

以上のように，従来のATP機能にオーバスピードプロテクション機能を付加することにより，全自動無人運転においてより安全にかつ高密度運転が可能となった．本機能についても社内試験線において検証試験を行い，その結果から香港新空港向けAPMシステムにおける最小運転間隔約100 sの実現の確認を得た．

### 3．4　停止精度の向上

無人で自動運転される車両にとって，駅に正確に停止することが必要条件である．香港新空港向けAPMシステムでは，客先仕様として$\sigma$(68.3％の発生確率）で150 mm，さらに車両の出入口ドアと駅のプラットホームドア間の許容偏心量から3$\sigma$(99.7％の発生確率）で300 mmの停止精度が要求された．

**図6**は，駅での車両の自動停止パターンを示したものである．$P_1$点（停止位置の手前約250 m）を通過後，車両の自動運転制御装置に，定められた停止位置（定点）までの停止パターンを発生させる．車両は，車上で検知した速度と走行距離に基づき，所定の停止パターンで減速・停止制御される．途中，$P_2$～定点では駅ATO装置のトランスポンダによる絶対位置を検知し，停止制御を補間している．

このような従来の停止制御に対し，停止精度に関係する要因の分析とその寄与度についてシミュレーションした．その結果に基づき，**表3**に示す停止精度向上策を実施した．

**図7**に停止精度の分布を示す．実線が，対策後の停止精度シミュレーション結果（設計値）であり，ヒストグラムが社内試験線での停止精度実測値である．これから表3に示す停止精度向上策により，所定の停止精度の3$\sigma$(99.7％の発生確率）で300 mm（図7に示す社内試験では195 mm）が達成できたことが分かる．

## 4．む　す　び

1998年春，香港新空港が開港する．同時に，当社にとって初めてのAPMシステムも運用を開始する．本報にAPM車両の概要と開発についてその一部を紹介した．現在システムの最終調整中であるが，今後の運用開始までより完成度を高めるよう尽力する所存である．そして新空港開港後多くの人々に利用され，輸送システムとしてその所期の目的を達成することを強く願う次第である．

最後に，本APMシステムの完成に当り，サブシステムの供給等共に尽力頂いた関係各社に深く謝意を表します．

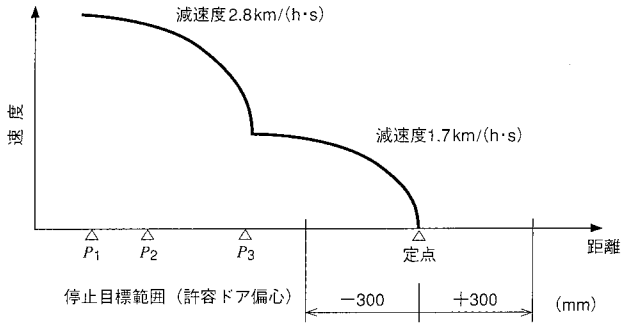



**図6　車両自動停止パターン**　駅停止時の車両の減速・停止パターンを模式的に示す．車両は2段階のパターンに従って自動で減速・停止制御される．
Train automatic stop control pattern

**表3　停止精度向上策**
Improvement of stopping accracy

| 要　因 | 対　策 |
|---|---|
| 速度及び距離検出精度 | 速度センサ出力の全波整流方式への変更による速度分解能の向上 |
| | タイヤ径自動補正機能の追加による正確な距離・速度の把握 |
| 絶対位置検知精度 | 地点信号入力にキャリヤディテクト方式採用による地点位置の正確な把握 |
| ブレーキ力制御精度 | 転動防止ブレーキノッチの可変化による停止直前の木目細かなブレーキ制御 |

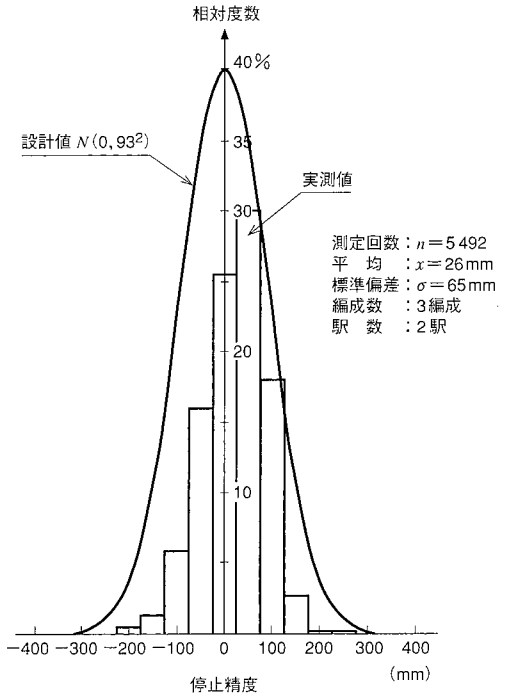



**図7　停止精度実測結果**　社内試験線での停止精度測定結果をヒストグラムで示す．本図から，目標の3$\sigma$＝300 mmに対し195 mm（＝65×3）と良好な結果であることが分かる．実線は設計値．
Result of measuring of stopping position

# ロープ駆動式懸垂型交通システム“スカイレール”の開発

Development of Rope Driven Suspended Transportation System SKYRAIL

三原製作所　倉田章彦[*1]　山内誠二[*2]

新しい軌道系の短距離交通システムとして，小型の懸垂型キャビンをロープで駆動する地上駆動方式のロープ駆動式懸垂型交通システム“スカイレール”を開発した．現在，広島市東部の安芸区内大規模団地に初号機を建設中であり，平成10年の春に開業の予定である．本報では，初号機の概要を紹介するとともに，各種要素技術について述べる．キー技術となる握索機は，25人乗りの車両を27％の急こう配で運行可能な機能・性能を有するものを開発し，監督官庁の認定を得た．また，初号機建設のプロセスについても併せて記述する．

A rope driven suspended transportation system the SKYRAIL has been developed to improve the mobility of short distance transportation systems. At present the construction of the Seno line in the eastern part of Hiroshima city is well under construction, it will be operated in April 1998. This paper mainly reports the configuration of the Seno line, the development of the fundamental technology and the progress of construction, particular mention is made of a rope grip which provides the ability to climb inclines of up to 27 % with a capacity of 25 people per car and has obtained special approval from the Ministry of Transport.

## 1. まえがき

近年，都市圏の拡大や都市活動の多様化・大規模化に伴って，歩行距離の増大が顕著となっている．また，郊外の住宅地域では，丘陵の開発などに伴って最寄り駅までの移動手段が課題となるなど，短距離の交通のニーズが高まってきた．中でも定時性の高い軌道系公共交通機関の役割が再認識されている．

こうした中で，新しい軌道系短距離交通システムとしてスカイレールの開発が計画され，その基本の検討は，(社)日本交通計画協会を中心とした官民共同の研究会で行われてきた．

平成3年度から，研究会のメンバであった当社と(株)神戸製鋼所の二社が共同して実験線の建設と運営を行い，実用化に向けての具体的な開発を進めてきた．そして(社)日本交通計画協会主催の技術評価委員会での確認を経て，運輸省，建設省委託の技術基準検討調査委員会において技術基準がまとめられ，初号機建設が実現した．

新しい公共交通システムを開発した場合は，安全の審査を行う技術基準の制定が必須となるため，実験線建設においては，実路線に限りなく近づけるとともに，拡張性の検証まで考慮したものとする必要があると考える．

## 2. スカイレールシステムの概要

本システムは懸垂型のモノレールの一種である．車両は鋼製の軌道桁(けた)に支持，案内された懸垂型で，その駆動は軌道上を一定の速度で常に循環するロープによって行われる．いわゆる地上駆動方式を採用している．駅部においてはロープを放し，地上一次のLIM（リニア誘導モータ）により運行を行う．

システムの基本となる技術は，安全思想と信頼性に貫かれたモノレールと，経済性に優れた急こう配に強いロープウェイの二つである．いずれも検証済の技術であり，これを組合せることにより，新しいコンセプトのシステムを実現させた．すなわち，比較的小量の輸送にターゲットを絞ることで，システムの簡素化，小型化を行うことで建設費の低減を図っている．

表1　システム諸元
System specification

| 項目 | | 実験線 | 初号機 |
|---|---|---|---|
| 最大輸送能力（人/時間/方向） | | − | 1 200 |
| 摘要路線長さ　(km) | | 0.2 | 1.3 |
| 路線形状 | | シャトル | 複線(循環) |
| 車両定員　(人) | | 25 | 25 |
| 運行時隔　(s) | | − | 75 |
| 運行速度　(km/h) | | 18 | 18 |
| 最小曲線半径　(m) | | 30 | 100 |
| 最大こう配　(%) | | 27 | 27 |
| 運行方式 | | 自動 | 無人運行 |
| 支持方式 | | 軌道桁に懸垂 | |
| 駆動方式 | 駅間 | ロープにより運行 | |
| | 駅部 | LIMにより加減速 | |

## 3. 建設中の初号機（広島短距離交通瀬野線）

現在，広島市安芸区内に西日本旅客鉄道(株)の山陽本線瀬野駅と団地（スカイレールタウンみどり坂）間の移動手段として初号機を建設中である．

表1に仕様を，図1にシステム構成，図2に路線図，図3に建設中の軌道外観を示す．

実験線は初号機の仕様に合せて計画しており，基本事項については検証を終えている．初号機と実験線の相違点や，実験線では検証できなかった事項（連続運行，複数車両での連動運行や複合異常等）については，開業に先立って国の研究機関（運輸省交通安全公害研究所）の試験により，軌道の強度や設備の機能・安全性等を確認する．システムの要素技術，実験線で得られた結果及び初号機での検証計画，実験線と初号機の比較で得られた結果，及び初号機での検証計画，実験線と初号機の比較を以下に報告する．

*1 機械・プラント技術部建設課主務
*2 機械・プラント技術部交通システム設計課

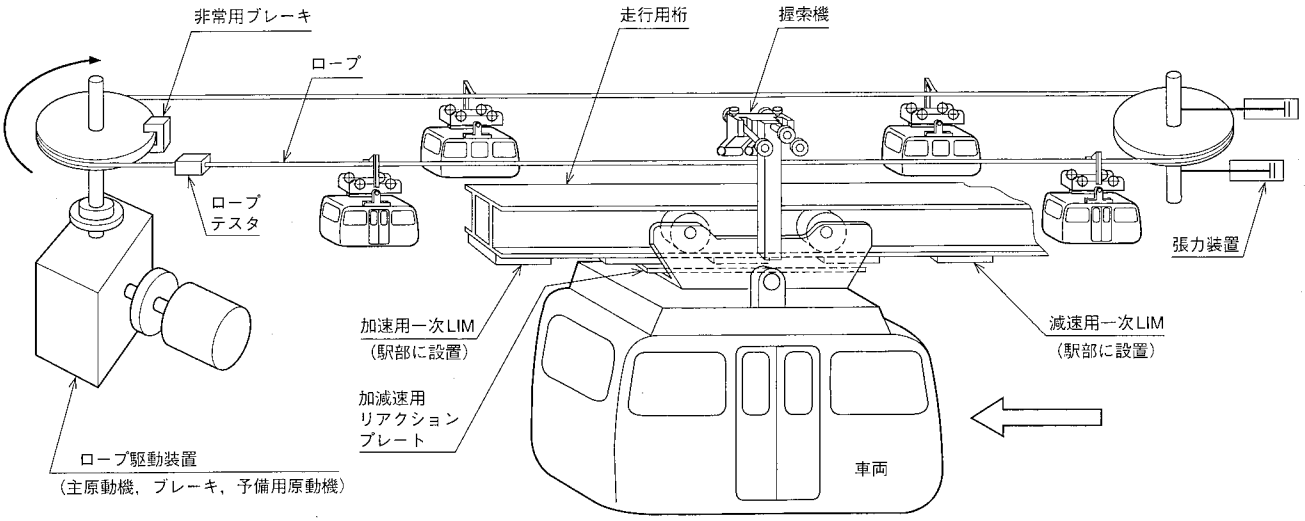



図1　システム構成図　システムの駆動系はロープとLIMにより構成されている．
Composition of SKYRAIL system

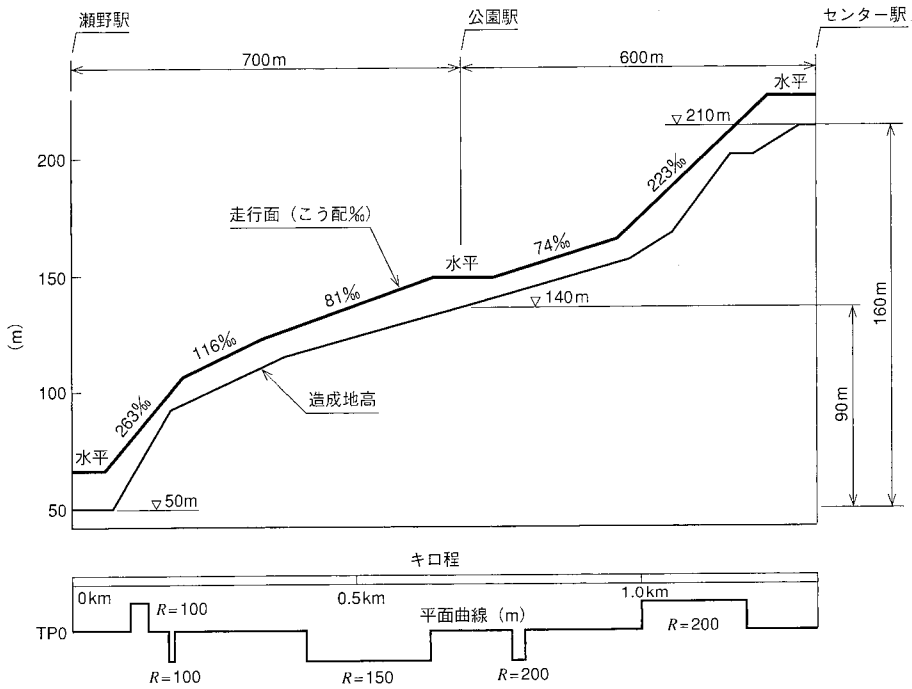



図2　路線図　瀬野線縦断面を示す．
Route of Seno line

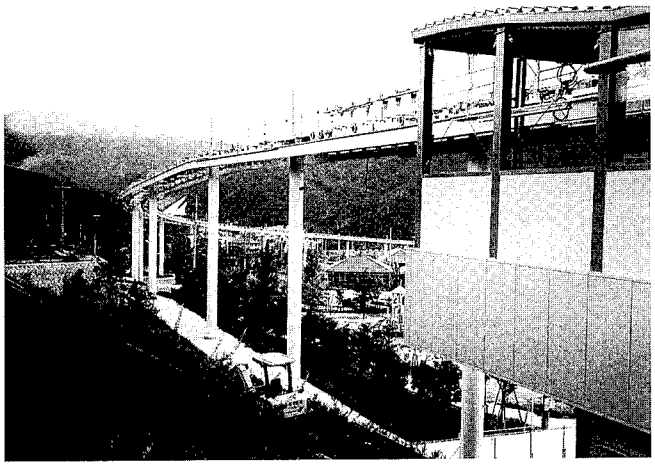


図3　建設中の軌道外観
Outline of girder track

## 4．要素技術の開発と評価及び実験線と初号機の比較

実験線の建設，運営等で得られた知見について以下に述べる．

### 4．1　軌道構造物（支柱，軌道桁）

本システムの軌道構造物は，懸垂型モノレールと同様，鋼製の軌道桁とそれを支持するT型支柱によって構成される．軌道桁の特徴はH型鋼を2本合せた構造で，荷重を支える構造体の機能と，車両を走行させ案内する走行路・案内軌条の機能を併せ持つところにある．このため，軌道桁の製作精度が車両の走行性能や乗心地に直接影響するため，初号機では管理基準を厳しく設定した．管理基準としては伸縮継手部の段差は2 mm以下，走行面の不整は3 mm/3 m以下等を設定して軌道構造物の製作，架設を行った．今後，車両の実走行での旧国鉄の乗心地基準で，1.5以下の“良い”の範囲内にあることの確認を行う予定である．また，強度面については，伸縮継手部や現場溶接部に関しては疲労強度を

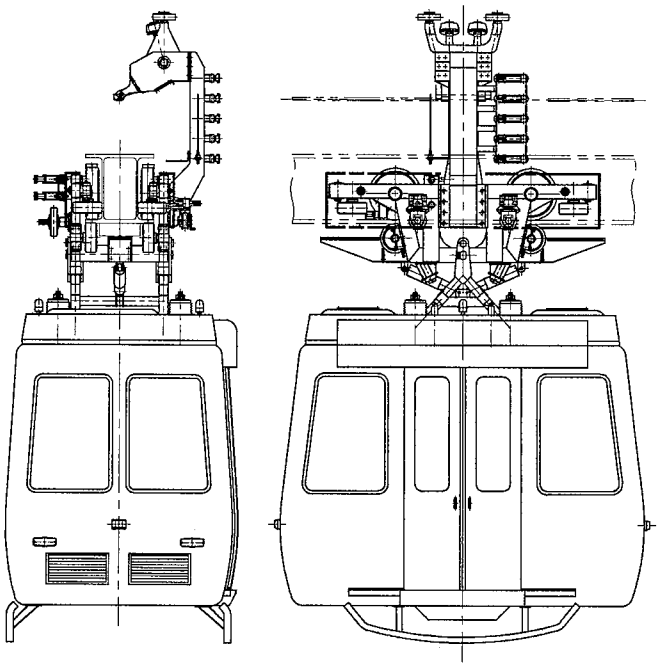
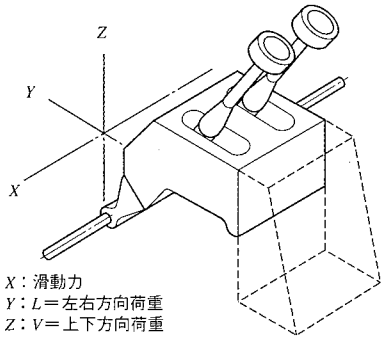


図4　車両構造図　車両の外観を示す．
Outline of vehicle

表2　握索装置の試験データ（耐滑動力）
Slipping resistance force test data

| ケース No. | 試験条件 | 耐滑動力 |
|---|---|---|
| 1 | $L=$ 0 kgf<br>$V=$ 0 kgf | 平均　5 370 kgf |
| 2 | $L=+850$kgf<br>$V=$ 0 kgf | 平均　5 430 kgf |
| 3 | $L=-850$kgf<br>$V=$ 0 kgf | 平均　5 580 kgf |
| 4 | $L=$ 0 kgf<br>$V=+650$kgf | 平均　5 373 kgf |
| 5 | $L=$ 0 kgf<br>$V=-650$kgf | 平均　5 448 kgf |



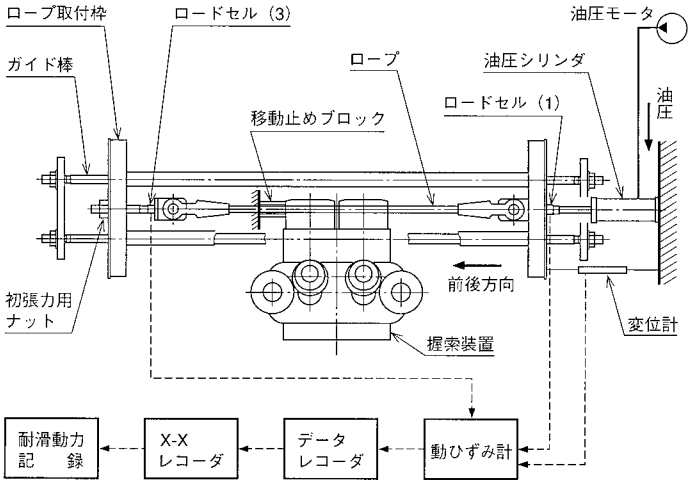




図5　握索装置の試験装置（耐滑動力）　ロープ分力を負荷した耐滑動力の試験装置を示す．
Anti slipping force test of grip

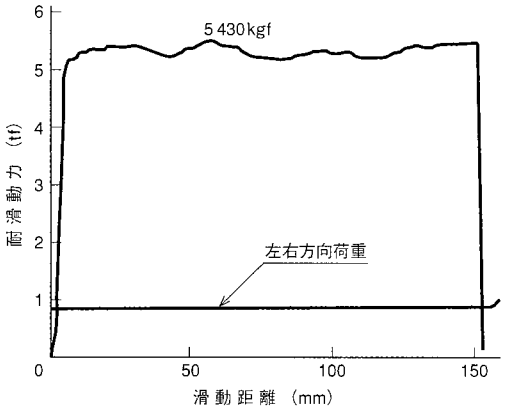



図6　握索装置の試験データ（耐滑動力）　ロープ分力を負荷した耐滑動力の測定チャートを示す．
Slipping resistance force test with lateral force

含め問題のないことを実験線で確認している．

### 4．2　車　両

車両は車体，台車及び握索装置によって構成される．その概略構造を図4に示す．車体は軽合金溶接構造としている．台車は，台車枠のほかにウレタンゴム製の走行車輪，案内輪，安定輪，LIM用の二次側リアクションプレート，制動用ブレーキパッド及び懸垂装置から構成されている．懸垂装置は，1本のピンにより前後方向に回転自由に支持するとともに，コイルばねにより車体への振動の伝達を緩和する構造を採用している．初号機の車両は，実験線と基本構想は同じであるが，実験線での走行データ（振動加速度）を基に大幅な軽量化を図った．

握索装置は，本システムのキー技術の一つで，その運用が特徴の一つである．その詳細については次項にて述べる．

### 4．3　握索装置

握索装置は，索道（ゴンドラ，ロープウェイ等）の技術基準に準拠した設計としている．すなわち，車両の荷重，軌道の傾斜，風の条件が最大の場合に，耐滑動力が安全率1.5以上の握索機を2個装備している．本システムの特徴として，握索装置とロープをガイドする受索輪との接触を避けるため，水平曲線部では曲線の外側に，直線部及び凸形の縦曲線部では上方に，また，凹形の縦曲線部では下側に各々ロープを引出して通過する構造を採用している．このため，通常の索道と異なり握索装置にロープ張力の分力が働くことになる．このため，握索装置の認定機関である運輸省交通安全公害研究所と，システム特有の使用条件を検証するための装置及び方法を協議し，性能試験を行った．図5に握索装置の試験装置の構造を，表2及び図6に試験結果を示す．その結果，認可条件を満たしていることが認められた．

以下にその試験結果を記述する．

(1) 対滑動力試験

ロープ径が所定寸法の場合，2％減少の場合及び12％増加の場合について，すべり抵抗（耐滑動力）の測定を行った．それ

ぞれのロープ径に対して，ロープ張力の分力（左右方向，上下方向）が負荷された場合においても，基準滑動力の3倍以上の耐滑動力が安定して得られている．

(2) 対荷重試験

握索装置に前後方向荷重（最急こう配時における車両総重量のロープ方向分力相当荷重），又は，ロープ張力の分力による荷重（左右方向，上下方向）を負荷したが，このとき握索装置の主要部に発生した応力は，いずれも材料の降伏点の1/5より小さい値を示した．よって，本握索装置は，必要な強度を有している．

(3) ばね特性試験

使用時の最圧縮状態の負荷荷重の1.2倍の荷重を繰返し負荷したが，永久変形は認められなかった．また，荷重とたわみの関係も，ばねの使用範囲において測定された試験値は，設計値の±10％の範囲内にあり，必要な性能を有している．

(4) 握索装置の形状・寸法検査及び機能

供試体の確認を行った結果は，特に問題となる点は認められなかった．

握索装置についても，実験線に比べて，軽量化，握放索時の衝撃削減のため改造変更を行っている．このため，実走行での応力測定を行い，信頼性の確認を行う予定である．

### 4．4　加減速装置（LIM：地上一次リニア誘導モータ）

加減速装置は，駅部において車両を加速，減速するための装置として設ける．特に，握索（ロープをつかむ）時には車両の速度をロープの速度に同調させることが重要な機能となる．加減速装置の制御は図7に示すように，握索位置でのロープ速度を常時検出し，車両の速度と比較してフィードバックする方式を採用している．実験線での結果は，握索時の速度差はロープ速度の1％以内に収まっている．車体床面の振動加速度も0.1 $g$ 程度と良好な結果が得られた．また，乗降位置での定位置停止制御も±15 cm 以内となっており，計画時の目標値を満足している．

### 4．5　機械ブレーキ

機械ブレーキは，停止中の車両の転動防止及び放索（ロープを放す）中の車両の緊急時の非常停止のために，軌道桁上に設けている．車両に装備したブレーキパッドを，地上側に設けたブレーキ板が重力で落下して挟込む方式を採用している．非作動時はブレーキ板を空気シリンダで持上げて開放する構造としている．実験線において，機械ブレーキ作動時の停止距離，減速度を測定した．その結果，満車状態での平均減速度は0.1 $g$ 程度であり，設計値を満足する結果が得られた．

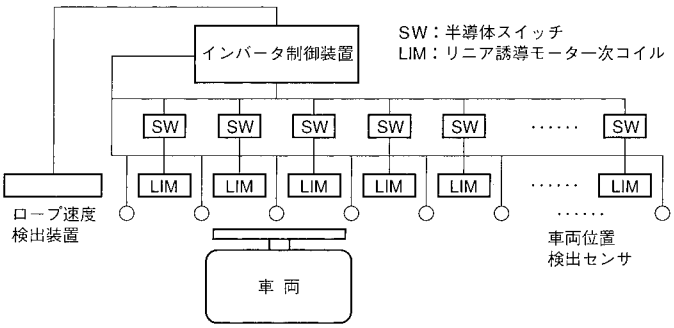



**図7　加減速装置制御線図**　ロープ及び車両の速度を検出してLIMの制御を行う．
Block diagram of acceleration control

### 4．6　運転，保安関係

実験線において，握索／放索異常，脱索（ロープのはずれ），張力装置異常，加減速装置異常，主駆動装置の異常，車両在駅時の次車両接近及び車両位置検出器不良等の異常を想定して試験を行い，確実に異常を検出し，保安動作が行われることを確認した．また，駅部での車両位置検知，車両衝突防止論理が確実に行われることを確認した．これにより暴走，衝突等に対する安全性が確保されている．

### 4．7　ロープ走行の安定性確認試験

実験線の建設，運行により，曲線部及びこう配部においても安定したロープ走行が得られることが実証できた．このことは，実験線なくしてはできない検証項目であった．

## 5．む　す　び

スカイレールシステムの実験結果の一部を述べたが，種々の試験結果から，所期の機能・性能の確認ができた．

今後は，建設中の初号機における，総合的な試験により一層の安全性・信頼性を確認する予定である．これにより，短距離交通の社会ニーズにこたえられるとともに，新規路線の計画が期待できると考えている．

### 参　考　文　献

(1) 倉田章彦ほか，ロープ駆動式新輸送システム；スカイレール，日本機械学会第2回交通物流部門大会講演論文集 No.930-81（1993-12）p.334

(2) 浜本二郎ほか，スカイレールの運行システム，日本機械学会第2回交通物流部門大会講演論文集　No.930-81（1993-12）p.340

# 新幹線軌道確認のための自動運転支障物検知車両の開発

Development of Automatical Driving and Obstacles Detection Vehicle for Shinkansen Track Confirmation

技術本部　山下　博[*1]　山口正博[*2]
三原製作所　怒和　孝[*3]　東　伸一[*4]
丹羽英臣[*5]

新幹線では，線路の安全確保のため営業列車の運転を開始する前に確認車と呼ばれる検査車を走行させる．従来，この検査は目視で行われていたが，今回，全自動運転可能な支障物検知車両を開発した．本車両は，自車内に線路データと目標速度データベースを持ち，それに従って自動運転され，かつその速度を監視する装置を有している．さらに前方400 m以内の路線内にある25 cm²以上の断面がある支障物を画像処理技術を用いて検知する性能を有している．開業前の北陸新幹線において特有の最急こう配（100 mにつき3 m）での最高60 km/h自動運転支障物検知走行を確認した．

In case of conventional type inspection car of Sinkansen track, the operator checks ahead visually while driving, and the inspection car is operated manually by the driver. As a development of this, a fully-automatic operated vehicle has been manufactured which employs a target speed database by which the vehicle speed is automatically controlled. Equipment to monitor the speed and an obstruction detecting safety system, which checks the way ahead with image processing technology inside the vehicle, are also employed. As a result, a fully-automatic obstruction detection test has been realized on Shinkansen track at a maximum speed of 60km/h.

## 1. まえがき

新幹線では，高速運転する列車の安全を確保するため，線路等の地上設備の保守を行う“作業時間帯”と，列車が運転される“運転時間帯”とに区別されている．この“作業時間帯”の終了に先立って，保守用機械・器具などの線路上への置忘れや，線路状態の異常の有無を確認するために“確認車”と呼ばれる専用の車両が運転されている．

そして，この“確認車”の運行が終了したことを受けて“作業時間帯”から“運転時間帯”に切換えられ，初めて営業列車が運転される．

この“確認車”の運転業務を効率的なものにするため，東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）と共同で“新型確認車”の開発に取組んできた．

本報では，新型確認車のねらいと特徴，試験結果について概要を述べる．

## 2. 開発のねらい

(1) 省人化による保守人件費の低減（2→1名）

現有確認車は，目視による支障物監視員とオペレータの2名が乗務している．画像処理技術の導入による支障物検知の自動化と自動運転の導入による1人乗務化により保守人件費の低減を図るのがねらいである．

技術的には無人運転は可能であるが，支障物除去及びシステム監視要員として1人乗務としている．

(2) 遠方監視による速度向上（40→80 km/h）

現有確認車は，目視により支障物を監視している．画像処理技術の導入により400 m前方の支障物を遠方自動監視することで速度向上を図る．

## 3. 新型確認車の特徴

新幹線を始めとする鉄道では，線路の敷設情報が正確にデータ化されている．そこで，この敷設情報（曲線半径，こう配情報）に着目し，走行検査中の位置情報（キロ程情報）と敷設情報を援用するシステムを構築したことが本開発のポイントであり，具体的には以下の特徴的技術を有している．

① 線路の線形（曲率，こう配）に応じた目標速度データベースの構築（車上自律型自動運転装置）
② 線路の線形（曲率，こう配）に応じた最適なカメラ方向データベースの構築（支障物検知装置：軌道追随装置）
③ 誤検知を防止し，遠方まで監視するための光量，照射範囲，方向可変型サーチライトの開発（支障物検知装置：軌道追随装置）
④ 低周波の車両振動の影響をキャンセルする画像処理を用いたレールマッチングの実現（支障物検知装置：画像処理装置）
⑤ カメラ画像がぶれないための防振対策

### 3. 1 車上自律型自動運転装置

新型確認車用自動運転装置は，地上側信号・通信設備からの指令を必要としない車上自律型であることが大きな特徴である．

以下にその方式を述べる．

(1) 目標速度データベース

自動運転装置には，敷設情報（曲線半径，こう配情報），ポイント手前等の停止位置データ，徐行区間等の速度制限データに基づいて，全路線の目標速度データベースをあらかじめ記憶させておく．

図1に目標速度データベースの例を示す．

(2) 車両位置追跡

自動運転装置は走行中，車輪の回転パルスにより車両位置を追跡する．また，車輪のすべりによって生じる距離誤差をなく

*1 広島研究所色彩・画像研究室
*2 広島研究所機械研究室主務 工博
*4 電子制御部開発課長
*5 電子制御部開発課

| 開始キロ程 | 終了キロ程 | 目標速度 (km/h) | 加減速度 [km/(h·s)] | 走行距離 (m) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ／高崎駅中心 |
| 0 | 89 | 25 | +1 | 89 | |
| 89 | 131 | 25 | 0 | 42 | |
| 131 | 220 | 0 | −1 | 89 | ／高崎駅停止限界標識外方52m停止 |
| 220 | 309 | 25 | +1 | 89 | |
| 309 | 461 | 25 | 0 | 152 | |
| 461 | 550 | 0 | −1 | 89 | ／高崎駅62号背向外方58m停止 |
| 550 | 556 | 5 | +1 | 6 | |
| 556 | 650 | 5 | 0 | 94 | |
| 650 | 772 | 25 | +1 | 72 | |

**図1　目標速度データベース**　目標速度データベースの構造を示す.
Data base for mark speed

すため線路上1kmごとに設置された地上子（キロポスト）を検知し，あらかじめ記憶されたキロポスト位置へ車両位置を修正する.

(3) 自動運転速度制御・停止制御

自動運転装置は，車両位置に対応した前記データベース上の目標速度を速度指令として電動機駆動装置へ出力することにより，自動運転速度制御・停止制御を行なう.

図2に速度指令出力例を示す.

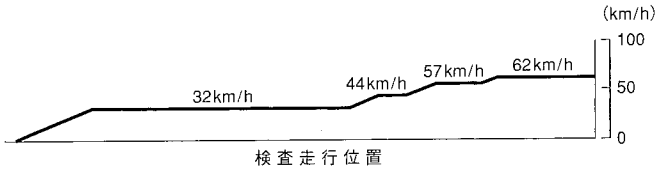



**図2　速度指令出力例**　自動運転の速度データに基づく速度パターンの一例を示す.
Example of speed command

(4) 自動運転監視装置

下記の機能を有する自動運転監視装置により，上記システムの信頼性を確保する.

① 自動運転装置の異常監視機能
② 速度保安パターン設定による車両速度の照査機能
③ 車両位置の照査機能
④ 車上制御機器の異常・故障監視機能

### 3．2　支障物検知装置

支障物検知装置は，大別すると，①軌道追随装置，②画像処置装置，の二つに分けられる．また，支障物検知のためのカメラ画像が鮮明に撮影できるよう車両構造は，防振対策を考慮して設計されている.

#### 3．2．1　軌道追随装置

軌道追随装置は，曲率を有する軌道に沿って最大の監視距離を確保するための装置であり，以下の要素で構成される.

(1) 追随データベース[1]

線路の敷設情報（曲線半径，こう配情報）を基に曲線部やこう配変更部での見通し距離を計算し，監視距離を3段階（100, 200, 400 m）に設定する．そして線路上の各走行位置での監視距離とそのときのカメラ支持装置の方向，サーチライトの方向を追随データベースとして作成，記憶する.

(2) カメラ支持装置

撮影倍率の異なる3台のCCDカメラを設置した旋回テーブルを2台のモータにより旋回，俯(ふ)仰制御することで監視方向を設定する．3台の光学系はそれぞれ，100 m前方用，200 m前方用，400 m前方用であり，撮影倍率が変っても検出性能（最小検出対象物の大きさ）が等しくなるよう検査視野範囲は設定している.

(3) サーチライト

カメラ支持装置と同様に追随データベースに基づき，照射方向を変えることができる．また各監視距離に対応した検査視野範囲をほぼ照射できる可変構造とした．これは，余分な範囲の照射による画像処理への外乱を増加させないためである．さらに天候条件により可視光線の大気中での透過率が変化するので，明るさを調整する機能も持たせた.

(4) 制御コンピュータ

自動運転装置と現在位置や行き先情報を通信し，それに基づく追随データベースによりカメラ支持装置とサーチライトの方向を制御するとともに，3種類のカメラ画像の中から必要な画像を選択し，位置情報等とともに画像処理装置に送信する.

図3に軌道追随装置の構成を示す.

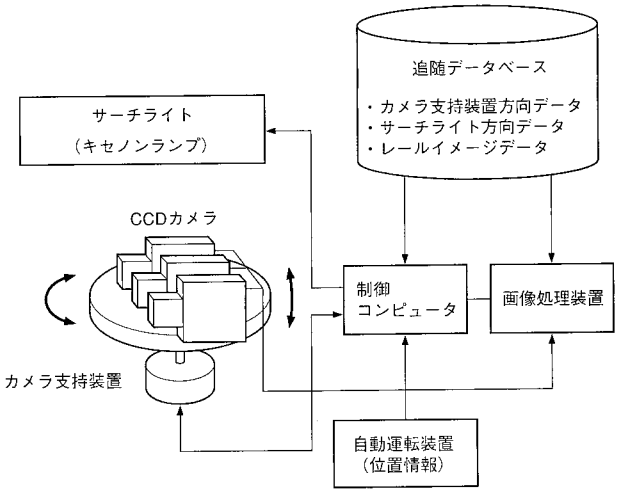



**図3　軌道追随装置システム構成**　キロ程情報を基にカメラ支持装置，サーチライトを制御している.
Construction of rail following systems

#### 3．2．2　画像処理装置

画像処理装置は，大きくわけて二つの処理を行っている．まず始めに現在監視している画像の中から検査対象である建築限界（新幹線鉄道構造規則で定められた建物その他の建造物を設けてはいけない範囲）の特定化を行う．これは，検査範囲外の外乱影像の影響を除去し，支障物検知の信頼性を上げるためである．この場合考慮すべきポイントは，常に制動距離を確保して監視することで，支障物を発見後直ちに非常ブレーキを作動させ，支障物位置までに車両を停止させる必要がある．そのため軌道追随装置のデータベースと同様に敷設情報（曲線半径，こう配情報）を利用し，各位置でのカメラから見えるレールの画像をあらかじめ計算で求めておく．この画像のことをレールイメージと呼ぶ．このレールイメージをCCDカメラで撮影した画像上に重ねることにより，レールを中心とした建築限界を一定の監視距離の地点に設定できる．しかし，単純に重ねると車両の振動のため，レールを中心とした正しい建築限界，正しい監視距離を特定できない場合が発生する．正しく特定できないままその検査範囲内を検査すれば，軌道周辺に存在する柵(さく)や電柱などの多くの地上設備の影響を受け，

誤検知の確率が増えることになる．そこで，このカメラの撮影画像からレール成分を画像処理で検出し，レールイメージとパターンマッチングさせることで正しい距離と検査範囲の特定化を可能とした．

この処理の流れを図4に示す．

本方式は，処理時間の短縮と，誤判定防止に効果がある．またパターンマッチングを用いることで，自動運転装置のチェックも可能となる．例えば，出発の際，オペレータが行き先と現在位置を入力することになっているが，この入力が間違っていたとしても自動運転装置では，その間違いが分からない．しかし，支障物検知装置では，レールイメージを持っているため実際の画像上のレールと一致しないことから異常を検知し，車両を停止させることができる．本システムでは，レールイメージと実際のレールとのパターンマッチングの一致度をマッチング率と呼び，ある基準以上一致する場合，その監視距離での視界（画像）が良好であることと，路線データと実際のレールが一致していると認識する．もし，ある基準以下になれば自動的に監視距離を1段階下げて，速度を落として検査を続行するシーケンスを採っている．

次に支障物を判定する基準であるが，特定された検査範囲（建築限界）内だけを対象に輝度分布を調べ，周辺より明るい物体を抽出し，その断面積が25 cm²以上であれば，支障物として検知するものとした．さらに実際の線路上には，新幹線の運行に必要なデータを新幹線車両と地上で通信するための地上子と呼ばれる設備が，1 km ごとに設置されている．このためレールイメージと同様に地上子の位置と形状をデータベース化している．このデータを用い，パターンマッチングすることで，支障物との区別を行っている．

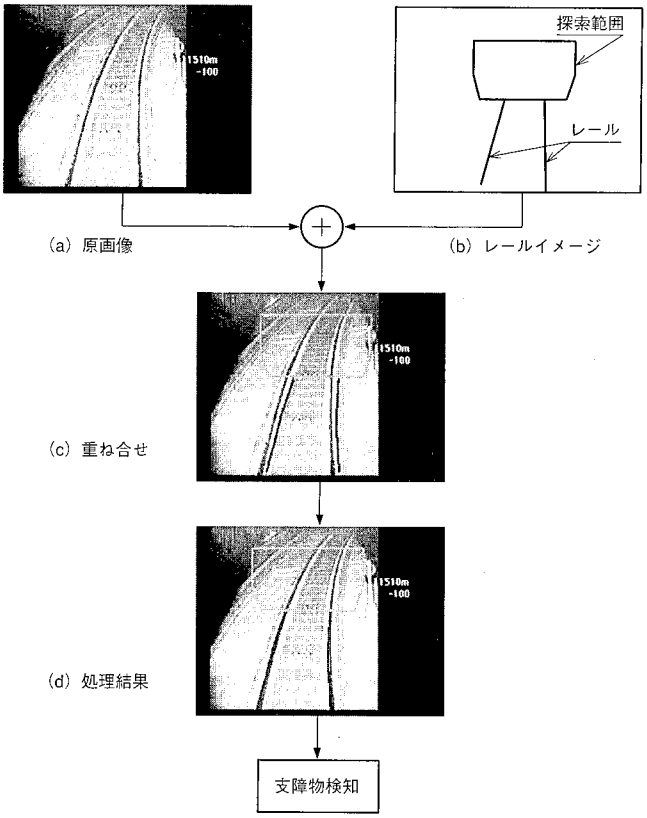



**図4　レールマッチング処理**　(a)原画像と(b)レールイメージを(c)単純に重ねると検査範囲に敷設物が入る．(d)レールマッチングにより正しい検査範囲内の検査が可能である．
Railmatching method

### 3．2．3　画像ぶれを軽減する防振対策[2]

走行中の車両がカメラ支持装置に及ぼす影響は，主として車両のピッチング振動による画像ぶれであり，像がぼける．特に遠方を監視する場合その影響は大きい．この画像ぶれは，カメラ光学系のピッチング角とその周波数に依存しており，許容限界線は本車両の場合，図5に示すとおりである．

現行確認車を用いた新幹線軌道上での走行試験の結果，画像ぶれ発生の主要因はエンジンの基本回転数 $N$ 及びその高次（2，3，4 $N$）の振動成分と車体の上下曲げ固有振動及びカメラ支持装置の固有振動との共振である．

そこで新型確認車は，回転数一定のエンジン発電機，PWMベクトル制御VVVFインバータ，電動機による2軸駆動方式の車両として，エンジンの振動成分とカメラ支持装置及び車体の上下曲げ固有振動との共振を回避する構成とした．さらに，エンジンの振動成分の車体への伝ぱを減少させるため，エンジン部に2段防振支持を用いることにした．

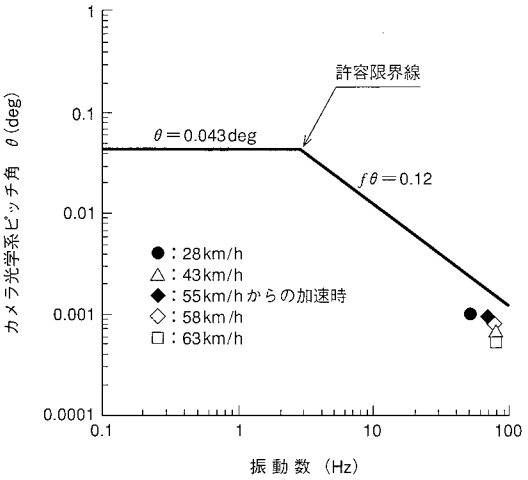



**図5　カメラ光学系の許容限界線と試験結果**　本システムのカメラ光学系の許容限界線を求め，走行試験での振動状態をプロットしている．
Results of test and permission line for vibration of camera

### 3．3　全体システム構成

図6に新型確認車の外観，図7にシステム構成，表1に諸元を示す．運転モードとしては，手動運転，自動運転，リモコン運転が選択できる．

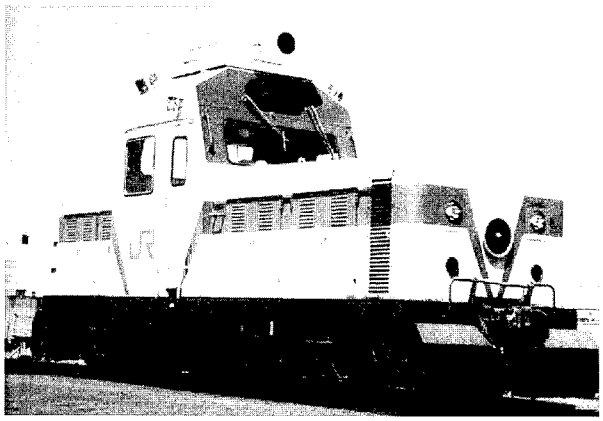


**図6　外　観**　夜間サーチライトを点灯し，軌道内の支障物を時速60 km/h で自動検査できる能力を有している．
View of vehicle

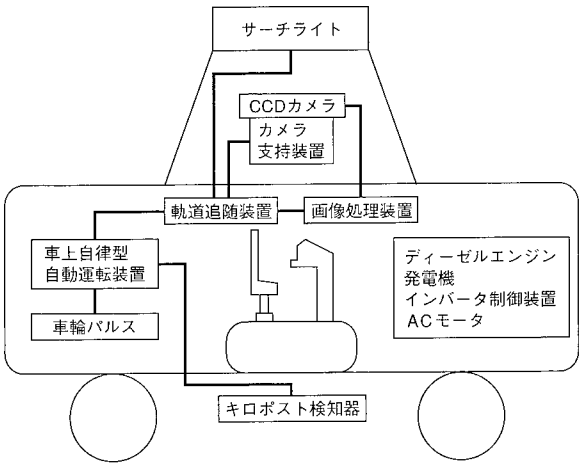
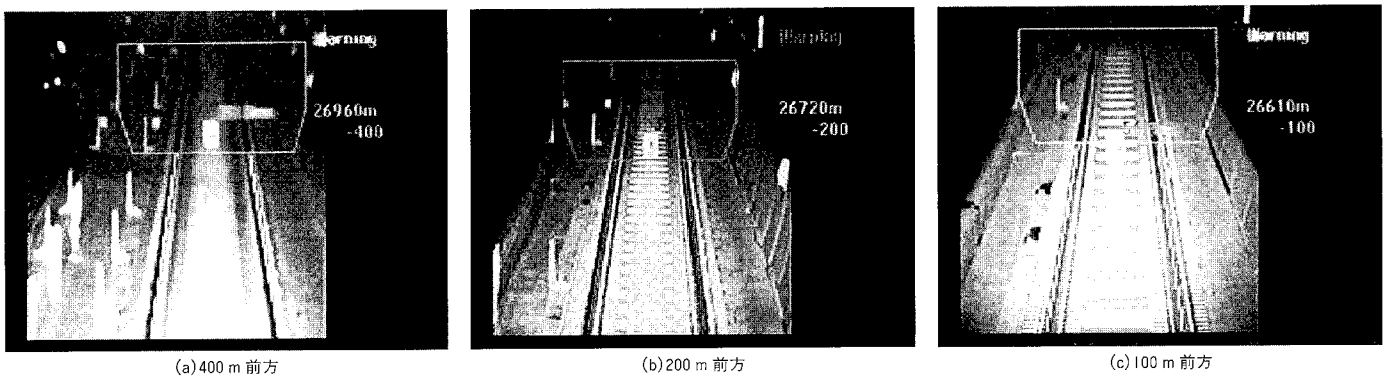



**図7　全体システム構成**　新型確認車の各装置のつながりを示す.
Construction of full-systems

**表1　主要諸元**
Principal specifications

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| 最大長さ | 9 150 mm |
| 最大幅 | 3 630 mm（限界検知装置使用時） |
| 最大高さ（レール面から） | 4 465 mm |
| 軸　距 | 5 300 mm |
| 軌　間 | 1 435 mm |
| 自　重 | 19.7 t（運転整備時） |
| 機　関 | ディーゼルエンジン<br>定格出力　335 PS/1 800 rpm |
| 駆動方式 | ディーゼルエンジン，発電機，電動機による全2軸駆動（1軸台車） |
| 制動方式 | 電気指令式電磁直通ブレーキ<br>発電ブレーキ併用 |
| 最高速度（水平レベル走行） | 100 km/h（手動運転時）<br>80 km/h（自動運転速度向上時） |




(a) 400 m 前方　(b) 200 m 前方　(c) 100 m 前方

**図8　支障物検知試験結果**　(a) 400 m 監視時に検出，(b) 監視距離 200 m になり更に検出，(c) 監視距離 100 m になり検出し，停止した.
Results of obstacles detection test

手動運転時は，従来のモータカー等と同様な主幹制御器（マスコン）の取扱いによるトルク制御運転とすることで，オペレータが取扱い面で違和感なく操作できるよう配慮している.

自動運転時は，運転台のタッチパネルの自動運転開始ボタンを押すことにより運転を開始する．その場合，自動運転装置が自車位置の情報を支障物検知装置に通信し，支障物検知装置はその時点での監視距離を自動運転装置に返すことで，あらかじめ設定された速度（監視距離に対して十分な制動距離を確保できる速度）で運転がスタートするようになっている.

リモコン運転は，保守基地内での入換えの作業時に使用され，最大 100 m 程度離れた地点から車両の走行・停止が遠隔操作できるようになっている.

## 4. 試　験　結　果

平成7年12月に試作車両を開発した後，JR 東日本の上越新幹線の熊谷～高崎～上毛高原間で試験走行を実施した.

車両振動は，図5にプロットされているように，許容限界線以内に入っており，鮮明な画像が得られている.

自動運転装置と支障物検知装置も，目標速度データベースと追随データベースに準じて良好に動作した．模擬支障物検知試験を実施した時の画像を図8に示す.

支障物検知の信頼性を確保する上での課題は，処理画像が屋外のものであり，気象条件に左右される点にある．そのため，各種気象条件下（雨・雪・霧）での性能試験を繰返し実施した.

例えば，降雨時は，軌道面上にたまる水の反射により，地上子が写り込み，形状が異なる現象などが見られた．これについては，地上子形状データベースに降雨時用の形状を追加することにより対処できた.

また降雪については降雪強度 0.7～1.5（降雪強度1とは，1 h 当り 1 cm の積雪をいう）程度ならば，200 m 前方の監視まで可能であること，さらに，霧の場合にも，目視では見えないような状況でも，カメラ画像の方が良く見える場合があることが確認されている．ただし，この場合の監視距離は，見通し距離の影響から自動的に 100 m まで下がり走行速度もそれに伴って低下する．本システムの耐環境性に関しては，早めに監視距離を下げることでフェイルセーフ側になっているが，今後，データの蓄積を図ることで，より遠方で安定した検出及び運転速度の向上が可能になると考える.

## 5. む　す　び

前記試作機の試験結果を踏まえ，平成9年10月1日の北陸新幹線の開業に合せて，平成9年6月に本新型確認車6台が導入され，現在順調に稼働している.

今後は，更なる曲線区間での速度向上を目指したい.

### 参　考　文　献

(1) 山下　博ほか，鉄道の障害物検知システムの開発，三菱重工技報　Vol.32　No.4 (1995) p.244～247
(2) 田中　豊ほか，画像処理を用いた新幹線軌道の支障物検知システム，鉄道技術連合シンポジウム (1995-12)

# 新交通システムの電力設備に関する設計手法と検証（交流方式）

## Design and Verification Technique to Power Supply System for Three-Phase AC Based New Transit Systems

技術本部　相場謙一[*1]　森本雅之[*2]
三原製作所　川上哲夫[*3]　尾西京太郎[*4]
東京臨海新交通株式会社　依田和雄[*5]

新交通システムは，バスと鉄道の中間的位置付けの輸送機関であり，低コストで輸送力を確保する手段として用いられている．空港のアクセス，都市部の短距離輸送などに国内外で多数の実績を有している．3相交流き電（給電）方式を採用した東京臨海新交通 臨海線(ゆりかもめ)は，世界で初めて長大な吊橋の上を走行する．ところが，新交通システムのき電には指針により低電圧を用いているため，き電変電所を設置できない吊橋の部分で，電圧降下によって車両のパンタ点電圧が最低電圧を下回ることが懸念された．これに対して，新たに車両の位置を考慮した電力シミュレーション法を開発して電力設備の設計を行った．ゆりかもめは，問題もなく開業後1年半順調に運行している．

The Waterfront Line of the Tokyo Waterfront New Transit is the world's first automated people mover system, which runs on a long suspension bridge. The new transit system uses a low voltage, three-phase AC feeding system according to the New Transit System's guideline. We developed a simulator for the electric power feeding system in which the vehicle's position is considered. The simulator is used for the design of the electric distribution system, in order to avoid low voltage at the suspension bridge. This paper describes the distribution line system of the Tokyo Waterfront New Transit Waterfront Line and the electric power simulator used for the design. By using the newly developed simulator, the Yurikamome, Tokyo Waterfront New Transit Waterfront Line, has been in operation safely since October 1995.

## 1. はじめに

新交通システムは，バスと鉄道の中間的位置付けの輸送機関であり，低コストで輸送力を確保する手段として用いられている．すなわち，車両はゴムタイヤを有し，ガイドウェイに沿って走行するもので，快適性，低公害性，安全性に優れている．空港のアクセス，都市部の中量輸送として国内外で多数の実績を有している．

走行する車両に電力を供給するき電（給電）には，交流と直流がある．交流方式と直流方式の比較[1]を**表1**に示す．新交通システムのき電には，絶縁等の安全を考慮して低電圧を用いることが指針により定められているため，比較的路線長が長く車両が少ない場合に直流方式が有利になり，逆に短い距離を多くの車両で輸送する場合は交流方式が有利になる．

**表1　新交通システムのき電方式**
Feeding of new transit system

| | | 三相交流 600 V 方式 | 直流 750 V 方式 |
|---|---|---|---|
| き電変電所設備 | 数 | 多い（直流方式の約2倍） | 少なくても良い |
| | 内容 | トランスのみ（高調波対策等が必要） | トランス，整流器，インバータが必要 |
| 軌道上設備 | 電車線 | 3本，離隔距離は小さい（約45 mm） | 2本，離隔距離は大きい（約90 mm） |
| | き電線 | 電圧降下が大きいので必要 | 電圧降下が小さいので不要 |
| 車上設備 | 内容 | サイリスタレオナード方式<br>トランスのみで良い<br>集電子3個/1箇所 | サイリスタチョッパ方式<br>インバータ又はMGが必要<br>集電子2個/1箇所 |
| | ぎ装空間 | 直流式に比べれば小さい | 車上搭載機器が多いので大きな空間が必要 |
| | 重量 | 直流式に比べれば軽い | 車上搭載機器が多いので重くなる |
| コスト | | 地上設備が高くなるが，車両は安くなる<br>路線が短く需要が多いほど有利 | 車両は高くなるが，地上設備が安くなる<br>路線が長く需要が少ないほど有利 |

現在運用中の新交通システム電力方式の一覧[2]を**表2**に示す．路線ごとに種々の観点から電力方式が選定されている．

平成7年11月に開業した東京臨海新交通臨海線（以下，ゆりかもめと称す）は，新交通システムとして初めて長大な吊橋の上を走行する．吊橋の部分では，き電変電所の間隔が長くなり，電圧降下が大きくなりやすい．そのため車両の運行に支障がないように電力設備を決定する必要がある．

本報では，ゆりかもめの電力設備の概要に触れ，次に当社が新たに開発した3相交流き電方式のシミュレーション法とシミュレーション結果の電力設備設計への反映状況について述べる．なお，3相交流き電方式の新交通システムの高調波まで対象としたシミュレーションは世界初の取組みである．

## 2. 東京臨海新交通の特徴

ゆりかもめは，**図1**に示すように新橋～芝浦ふ頭，レインボーブリッジを経由して有明までのウォータフロントを結ぶ全線複線の12駅，全長約12 kmの高架式路線である．大きな特徴として途中にレインボーブリッジを有し，さらに橋上で最大こう配50 ‰となっている．

運転は，自動列車制御装置（ATC）と自動列車運転装置（ATO）による完全無人運転となっている．

**表3**にゆりかもめのシステム諸元を示す．最高速度60 km/h，最大加速度・常用減速度3.5 km/(h·s)と大きな輸送需要にも対応

*1 エレクトロニクス技術部エレクトロニクス技術開発センター
*2 エレクトロニクス技術部エレクトロニクス技術開発センター主務 工博
*4 電子制御部機械・プラント制御設計グループ

表2　新交通システム一覧
List of new transit system

| | 東京臨海新交通 | 広島新交通 | 桃花台新交通 | 神戸新交通 | 横浜新都市 | 西武 | 埼玉新都市 | 山万 | 大阪市 | 神戸新交通 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 線　名 | 臨海線 | 1号線 | 桃花台線 | 六甲アイランド線 | 金沢シーサイドライン | 山口線 | 伊奈線 | ユーカリが丘線 | 南港ポートタウン線 | ポートアイランド線 |
| 区　間 | 新橋～有明 | 本通～広域公園前 | 小牧～桃花台東 | 住吉～マリンパーク | 新杉田～金沢八景 | 西武遊園地～西武球場 | 大宮～内宿 | ユーカリが丘～公園 | 住之江公園～中ふ頭 | 三宮～中公園 |
| 路線長(km) | 11.9 複線 | 18.4 複線 | 7.7 複線 | 4.5 複線 | 10.6 複線 | 2.8 単線 | 12.7 単線 4.5 複線 8.2 | 4.1 単線 | 6.6 複線 | 6.4 単線 2.9 複線 3.5 |
| 駅数 | 12 | 21 | 7 | 6 | 14 | 3 | 13 | 6 | 8 | 9 |
| 平均駅間距離(km) | 1.1 | 0.9 | 1.3 | 0.9 | 0.8 | 1.4 | 1.1 | 0.8 | 0.9 | 0.8 |
| 電気方式 | 交流3相600 V | 直流750 V | 直流750 V | 交流3相600 V | 直流750 V | 直流750 V | 交流3相600 V | 直流750 V | 交流3相600 V | 交流3相600 V |
| 制御方式 | 可逆式サイリスタレオナード | 4象限チョッパ | 4象限チョッパ | 可逆式サイリスタレオナード | 4象限チョッパ | VVVFインバータ | 可逆式サイリスタレオナード | 抵抗 | 可逆式サイリスタレオナード | 可逆式サイリスタレオナード |
| 主電動機 | 直流分巻 | 直流分巻 | 直流分巻 | 直流分巻 | 直流分巻 | 交流誘導 | 直流分巻 | 直流直巻 | 直流分巻 | 直流複巻 |
| 最高速度(km/h) | 60 | 60 | 55 | 62.5 | 60 | 60 | 60 | 50 | 60 | 60 |
| 列車制御装置 | 無人ATO | ATC | ATC | 無人ATO | ATO | ATC | ATC | ATS | ATO | 無人ATO |
| 開業年月 | 1995.11 | 1996.8 | 1991.3 | 1990.2 | 1989.7 | 1985.4 | 1983.12 | 1983.9 | 1981.3 | 1981.2 |

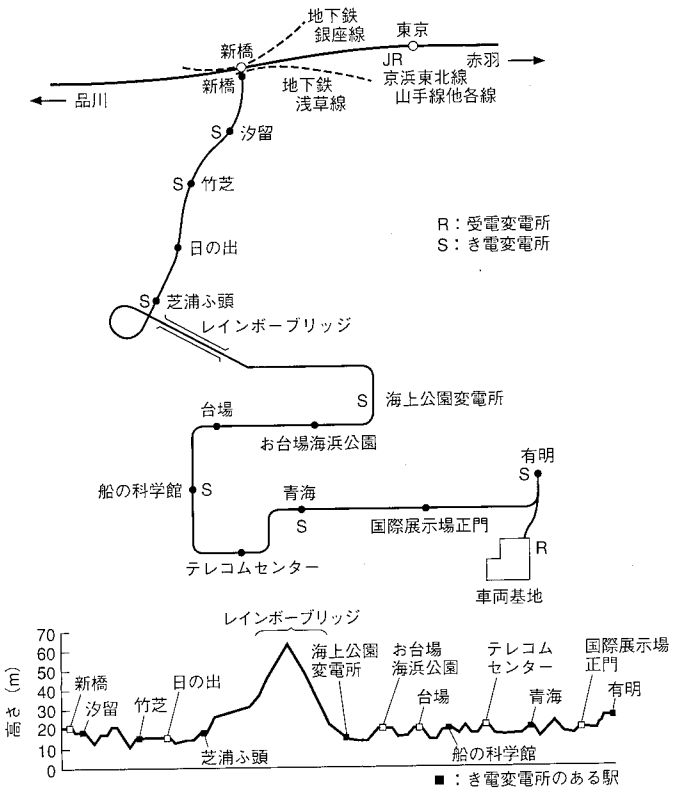



**図1　ゆりかもめ路線図**　レインボーブリッジを経由して新橋～有明駅を結ぶ約12 kmの路線である．吊橋部分を含めこう配が多い．
Tokyo Waterfront New Transit, Waterfront Line

できる性能を有している．

図2に電力系統図を示す．き電方式は3相交流方式としている．6.6 kVの高圧配電線，車両に電力を給電するトロリ線とトロリ線のインピーダンスを下げるために並列に接続されたき電線から成る600 Vの電車線は軌道に沿って敷設し，電車線は各き電区間ごとに絶縁セクションを設けて，各き電変電所からき電線によってπ型き電を行っている．また，受電変電所とき電変電所には共振フィルタが設けられて高調波を取除いている．

表3　ゆりかもめシステム諸元
Specification of Tokyo Waterfront New Transit

| 項　目 | | 諸　元 |
|---|---|---|
| 軌　道 | 案内方式 | 側方案内 |
| | 分岐方式 | 水平可動案内板式 |
| | 走行路 | コンクリート舗装一体型又は分離型，一部区間エポキシ樹脂薄層舗装 |
| | ロードヒータ | 40 ‰以上のこう配区間及び分岐部 |
| 電　気 | 電気方式 | 交流三相600 V |
| | 電車線 | Al/SUS剛体3線式 |
| | 変電所 | 受電ACC 22 kV/AC 6.6 kV，7 500 kVA×2<br>き電AC 6.6 kV/AC 600 V，<br>1 000 kVA×2　3箇所，750 kVA×2　4箇所 |
| | 非常発電 | 2 000 kVAガスタービン |
| 運行管理 | 自動運転 | 分散制御方式 |
| | ATOデータ伝送 | 高周波連続誘導無線方式 |
| | 駅ATO伝送 | 電磁誘導方式（トランスポンダ） |
| 車　両 | 主要寸法 | 車両長9 m，車体幅2.47 m，車高3.34 m |
| | 定　数 | 352人（座席170人）/編成 |
| | 最高速度 | 60 km/h |
| | 最大加速度 | 3.5 km/(h・s) |
| | 減速度 | 常用最大3.5 km/(h・s)，非常4.5 km/(h・s) |
| | ATO装置 | 車上パターン式ファジィ制御<br>定速加減速モード付き |
| | 主回路 | サイリスタ位相制御（2両1組）<br>直流分巻電動機 |
| | ブレーキ | 電力回生ブレーキ併用電気指令式直通ブレーキ<br>保守ブレーキ |
| | 車　体 | 軽量ステンレス構造 |
| | 台　車 | 平行リンク式ユニット台車<br>中子式補助輪付きゴムタイヤ |

交流き電は前述のようにき電変電所の間隔を短くする必要がある．しかし，レインボーブリッジのような長大な吊橋では橋の中間部分にき電変電所を設けることが困難である．また，吊橋上や駅の前後のこう配で力行や回生が頻繁に発生し，車両自身の電流による電圧降下のほかに他の車両の電流による電圧降下の影響も受けやすい．そこで，シミュレーションにより電力システムの解

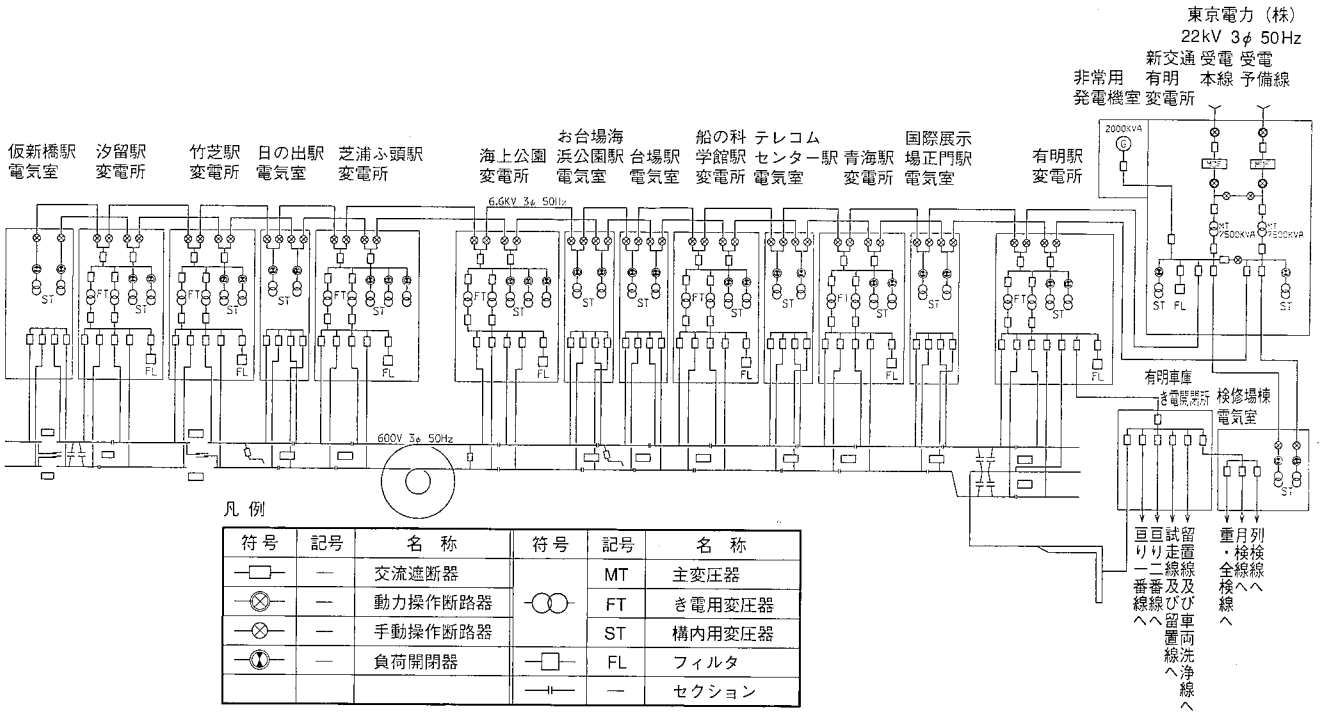



**図2　電力系統図**　ゆりかもめの電力系統を示す．1箇所の受電変電所と7箇所のき電変電所から成る．
Distribution line system

析を行う必要がある．

## 3．電力シミュレーション

複数の車両が同時に力行・回生を行うと電車線を流れる電流が大きくなり，電車線のインピーダンスによる電圧降下が発生し車両が受電するパンタグラフでの電圧（パンタ点電圧）が下がる．これにより，車両の性能が維持できなくなる可能性がある．さらに，き電変電所のトランスが過負荷とならないようにすることも必要である．

そのため，このようなことが起らないように，き電変電所の間隔や容量を決定することが必要である．その一つの方法として，電気学会で公表されている計算方式[3]があるが，この方式では車両は，均一に存在するとして扱っている．すなわち，駅間の車両数は駅間長と運転間隔から決定している．ところが，ゆりかもめでは路線の起伏が多く，力行・回生が頻繁に発生し，さらに駅間距離が短いので，車両を均一的に扱うには問題がある．すなわち，運行ダイヤによって決められる車両の組合せ次第で電圧が異なってしまう可能性がある．そのため，運行ダイヤの組合せを変えて，最もパンタ点電圧が下がったときでも車両に必要な電圧を確保できるようにしなければならない．そこで当社では，新たに3相交流き電方式の電力シミュレーション法を開発し，路線全体の電力シミュレーションを実施した．

電力シミュレーションは，図3に示す手順に沿って行う．路線の形状や車両の特性を入力した車両走行データファイルと仮の計画に基づいた，き電トランスや電車線のインピーダンスを入力したファイルからメインルーチンによって計算を行う．

メインルーチンは，以下の①～⑥を実施する．

① インピーダンスファイルから接点電圧方程式を立てる．

② 車両走行データファイルから車両位置と速度の関係を表すランカーブを決定し，車両の位置や電流量を求める．車両は電流源とみなすことができる．

③ ①の接点方程式に②の電流源を接続し，解を求める．

④ 方程式の解から各車両のパンタ点電圧とき電変電トランスに流れる電流を求める．

⑤ 運転間隔を任意の数に分割して，その時間だけ経過したときの車両の状態で再度計算する．

⑥ 上りと下りの車両の位置関係をずらして，最もパンタ点電圧が下がる場合やき電トランスに最も電流が流れる場合を求める．

電力シミュレーションプログラムの計算結果は，電流計算結果，電圧降下計算結果，容量計算結果のファイルの形で求められグラフ化を行う．

実測値と比較しやすいように1編成のみが駅間を走行している場合に片側駅のき電変電トランスに流れる電流の実測結果とシミュレーション結果を図4に示す．シミュレーション結果と実測結果はほぼ一致しており，高い精度を有していることが分かる．

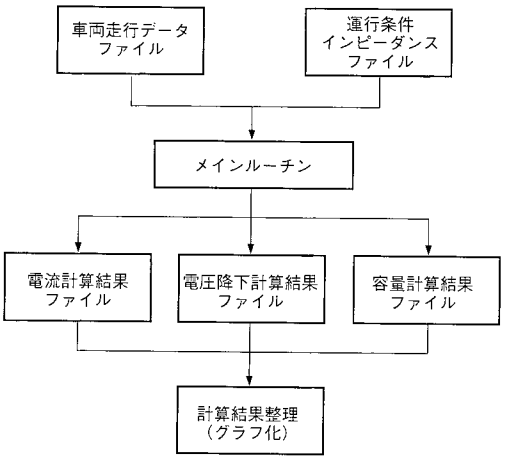



**図3　シミュレーション構成フロー**　電力系統の条件と車両の走行条件から，電流，電圧及びトランスに必要な容量を求めることができる．
Flow chart of simulation

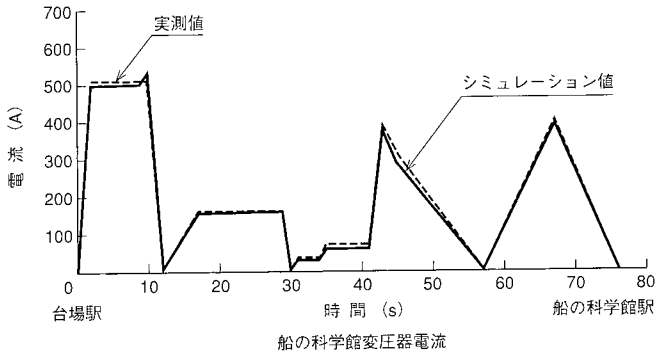



**図4　電力シミュレーション**　車両が台場駅から船の科学館へ向かって走行しているときの，船の科学館のき電変電所の電流を示す．実測波形と良く合っている．
Result of electric power simulation

このシミュレーションの結果を設備設計にフィードバックして受電・き電トランスの容量や電車線などの設計を行うことで，適切な容量の設備を決定することができる．

## 4. 過渡シミュレーション

ゆりかもめの車両はサイリスタ変換器を備え，交流を車両内で整流して直流モータを駆動している．

サイリスタ変換器では直流電流をサイリスタによって切替えるので，交流電流には高調波電流を含むことになり，サイリスタ変換器は高調波電流源となる．変換器の発生する高調波電流は，理想的なスイッチングを行っていても発生する理論高調波（$6n\pm1$次）と点弧角のばらつきや電流の変化によって発生する非理論高調波（$6n\pm1$次以外）から成る．これらの高調波が交流系統に流出するとさまざまな問題が発生する恐れがある．

理論高調波は，高調波のほとんどを占めるが，その発生量は理論的に求められる．それに対して非理論高調波は高調波に占める割合は本来わずかであるが，サイリスタ変換器により非線形的に増大することがある．このため，過渡的なシミュレーションにより求めることが必要となる．

シミュレーションには，はん用の回路シミュレータであるPSpice（© MicroSim Co.）を用いた．PSpiceを用いることにより，従来のき電シミュレータのような静的な解析ばかりでなく，高調波やモータの負荷電流が過渡的に変化するジャークのような動的な状態までの解析も可能になる．

モデル化に当り，電車線（トロリ線及びき電線）の600 Vを基準として高圧系統はそれぞれ換算して回路網を作成する．

回路作成に当り各機器の定数は次のように決定した．

受電トランスとき電トランス：工場実測値
電車線，高圧配電線等電線　：距離に比例した値
電力フィルタ　　：設計値

サイリスタ変換器の主回路はそのままPSpiceモデルとし，車両の制御系は点弧角の制御が可能な等価モデルとした．ただし，車両の回路定数を基にモデル化している．このため，PSpiceモデルで記述された電力系統の任意の位置に任意の数の車両のPSpiceモデルを自由に配置し，シミュレーションを行うことができる．

駅間で車両がブレーキを掛けたときの車両のパンタグラフを流れる電流（パンタ点電流）とパンタ点電圧のシミュレーション結果と実測結果を図5に示す．サイリスタ変換器等の車両機器と電力系統を合せてシミュレーションを行っているので，シミュレーション結果と実測結果はほぼ一致している．シミュレーションにより，発生する非理論高調波は問題となるような量が発生することはないことが明らかになった．

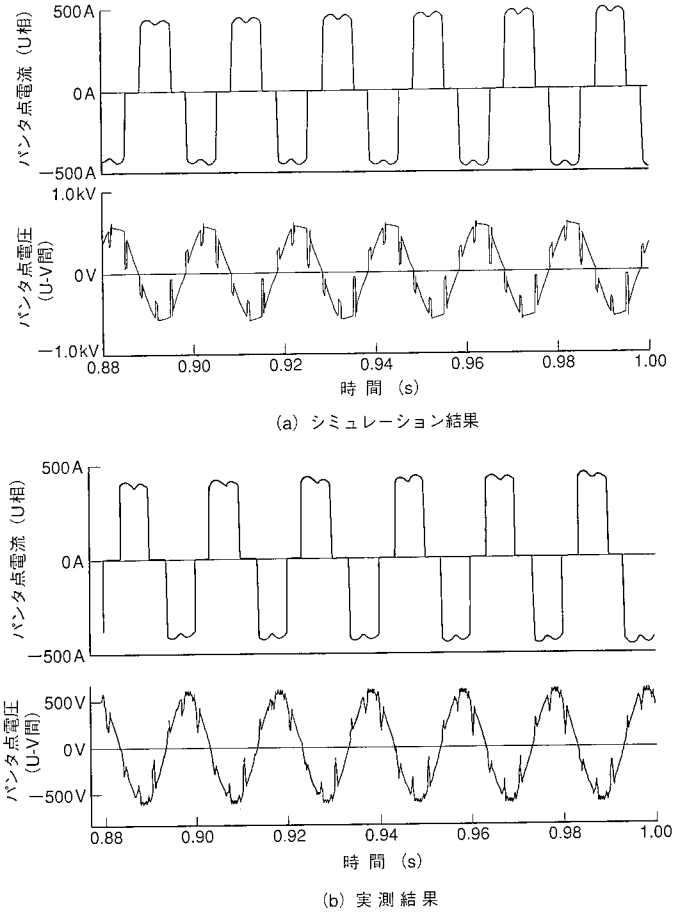



**図5　過渡シミュレーション**　レインボーブリッジ上ブレーキ作動時の車両のパンタ点電圧及び電流波形を示す．実測波形と良く合っている．
Result of transition simulation

今回開発した過渡シミュレーション手法によって，次のようなことを容易に行うことができる．

① サイリスタ変換器の電流波形が容易に得られる
② 高調波解析が可能
③ 車両動作のモデル化が可能
④ 動的な過渡現象が模擬可能

さらに，はん用シミュレータによりシミュレーションが容易に行えるので，これ以外にも各種の解析が可能と考えられる．

## 5. おわりに

本報では，新交通システムの3相交流き電方式のシミュレーションを実施し，電力系統の解析を行った結果を述べた．これによって電力の変化の大きい系統に対して過不足のない設備を設計することができた．

この成果を今後の新交通システムの設計に活用していく．

### 参考文献

(1) 日本交通計画協会，「新交通システムの標準化とその仕様」の策定に関する検討資料（1983）p.58～63
(2) 水間　毅，新時代を迎える都市交通システム　第2章，電気学会論文誌D Vol.113　No.6（1993）p.718～721
(3) 電気学会　電鉄用変電所専門委員会，電鉄用変電所の間隔と容量の合理的決定方法について，電気学会技術報告第21号（1957）

# 高速新幹線用 C/C 複合材ディスクブレーキの開発

Development of C/C Composites Disk Brake of High Speed Shinkansen

技術本部　涌沢邦章[*1]　高崎勝明[*2]
松井昭彦[*3]　森本立男[*4]
三原製作所　勢登利孝[*5]
東日本旅客鉄道株式会社　廣瀬俊夫[*6]

新幹線の高速化に伴い，ブレーキエネルギーは増大する傾向にある．C/C（炭素繊維強化炭素）複合材は比熱が大きく，耐熱性，軽量性，強度・靱性に優れ，この材料を用いたディスクブレーキ装置は，本用途に向いているが，摩擦係数が不安定であるという問題がある．当社では東日本旅客鉄道(株)と，本ブレーキ装置の開発を行い，最適なC/C複合材の選定と含浸による改質等によって，従来に比べ摩擦係数の安定なディスクブレーキ装置を開発した．車両搭載用の試作機を製作し，走行試験によってその性能を確認し，C/C複合材を用いたディスクブレーキ装置の今後の実用化のめどを得ることができた．

Train brakes need to absorb more energy as the speed of Shinkansens increases. Carbon/Carbon (C/C) composites have many favorable properties for this brake, such as durability under high temperature, light weight, strength, and toughness, but they have the problem of an unstable friction coefficient. With the cooperation of JR East, we have successfully developed a disk brake unit using a C/C composite whose friction coefficient is stable. We selected the most suitable C/C composites for the brake and improved its properties with a special impregnation method. The brake unit was tested using a real train (JR East STAR21 high speed Shinkansen) to verify its performance and stability. The tests showed that good progress towards the practical use of C/C composites disk brake unit had been made.

## 1. まえがき

新幹線では電気ブレーキが主体で，機械ブレーキはフェイルセーフ系ブレーキとして使用されているが，高速化に伴うブレーキエネルギーの増大により，現在の鍛鋼製ディスクブレーキでは重量が増え，車両の軽量化に反する結果になる．炭素繊維強化炭素複合材（以下，C/C複合材と称す）は比熱が大きく，耐熱性，軽量性，強度・靱性に優れ，ブレーキ材としての利点はあるが，摩擦係数が不安定という問題や摩擦熱による高温での酸化消耗の問題がある．

当社は，東日本旅客鉄道(株)（JR東日本）とC/C複合材を用いたディスクブレーキの開発を行い，摩擦摩耗特性の優れたC/C複合材の選定，摩擦係数安定化のための含浸処理，高温酸化防止のための耐酸化処理等を盛込んだ試作機の開発を行った．定置試験及び現車試験（952/953形式新幹線低騒音高速試験電車：STAR 21）によってその性能を確認したので結果を報告する．

## 2. C/C複合材ディスクブレーキ装置の概要

開発したブレーキ装置は，図1に示すように軸方向に動くことができる円盤状のロータとステータから構成され，このステータ

表1　各社C/C複合材の特徴
Characteristics of C/C composites

| メーカ | 炭素繊維の材質 | 繊維の形状配向 | マトリックスの材質 | 炭化焼成プロセス |
|---|---|---|---|---|
| A社 | PAN系 | 長繊維織布積層 | ピッチ系 | 繊維に自己焼成コークスを電着後，炭化 |
| B社 | PAN系 | 長繊維織布積層 | ピッチ系 | ピッチ含浸，炭化の繰返し |
| C社 | ピッチ系 | 短繊維分散 | ピッチ系 | ピッチ含浸，炭化の繰返し |
| D社 | ピッチ系 | 短繊維分散 | ピッチ系 | 繊維にバインダ・コークスを含浸ホットプレス後，炭化 |

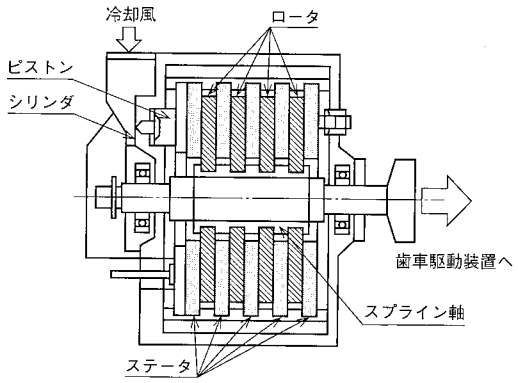
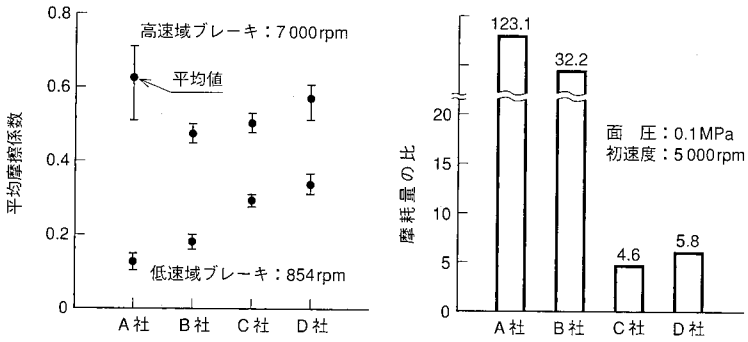



図1　試作機の構造　試作機は4枚のロータと5枚のステータディスクを有している．
Test model of C/C composites disk brake unit




(a) 平均摩擦係数　(b) 摩耗量

図2　C/C複合材の一次評価結果　C社，D社製のC/C複合材が速度による平均摩擦係数変化が小さく，摩耗も少ない．
Preliminary test results of C/C composites

*1 広島研究所主管
*2 広島研究所機械研究室長
*4 基盤技術研究所機能材第一研究室主務
*5 機械・プラント技術部空制装置設計課主務

を空気圧で押付け，ロータと摩擦させることでブレーキ力を得る多板式ディスクブレーキ装置である．設置方法は主電動機の後部を考えており，最終的には主電動機と一体（同一回転軸上に配置）となるように考えている．またブレーキエネルギーによる軸受温度上昇を抑えるために，冷却風を取込む構造とし，現車試験においては電動機用の冷却風を使用した．目標とする諸元は軸重 9.4 t で，速度 350 km/h からの非常ブレーキ可能であることとした．

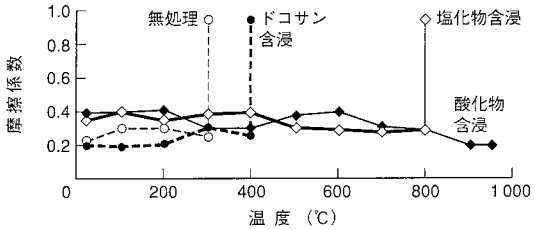
## 3．ディスク材料の選定及び改質

### 3．1　C/C 複合材の選定

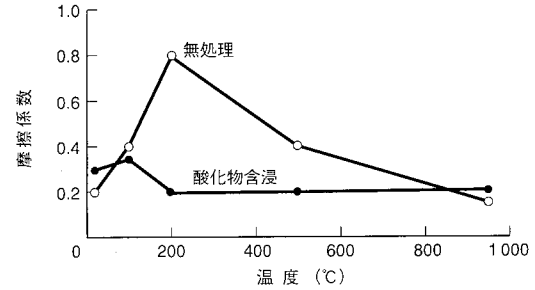
現在，日本国内には，30 社以上の C/C 複合材メーカがあり，原材料（マトリックス及び繊維）の種類，繊維配列法，成形・炭化焼成プロセス等で多様化し各社独自のものを開発している．それらの中から，**表 1** に示す 4 社の C/C 複合材を一次選定し，自作の高速小型摩擦摩耗試験機を用いて評価を行った．試験片寸法は，$\phi$40 である．試験結果を**図 2** に示すが，この結果から，速度によって平均摩擦係数の差が小さく，摩耗量の少ない C 社，D 社のものがブレーキ材として適当と判断した．ただし C 社のものは，材料入手に問題があったため，試作機用としては D 社のものを使用した．**表 2** に D 社製 C/C 複合材の特性を示す．選定した C/C 複合材はピッチ系短繊維分散型のものであるが，短繊維分散型のものは，織布積層型のものに比べ，摩耗・はく離が均一であるために，摩擦摩耗特性が良いものと考えられる．

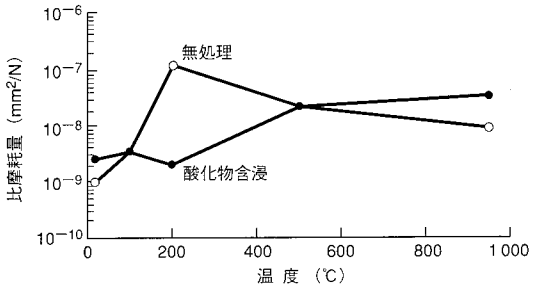
**表 2　D 社 C/C 複合材の特性**
Properties of C/C composites made by D company

| | |
|---|---|
| 焼成温度 | 2 000℃ |
| 繊維体積含有率 | 40 vol % |
| かさ密度 | 1.7 g/cm³ |
| 曲げ強さ | 90 MPa |




(a) 昇温に伴う摩擦係数の変化




(b) 摩擦摩耗特性に及ぼす温度の影響

**図 3　含浸剤による摩擦特性の改善**　(a)は各種の含浸処理により遷移温度が上昇することを示す．(b)は酸化物含浸により摩擦遷移温度が上昇し，高温まで摩擦摩耗の安定化が図れることを示す．
Improvement of friction characteristics with incorporated additives

### 3．2　摩擦係数安定化処理

#### 3．2．1　摩擦係数安定化の方法

試作機によるブレーキ試験の結果，摩擦特性の優れるピッチ系短繊維分散型の C/C 複合材でも，瞬間摩擦係数の急増等があり，平均摩擦係数のばらつきが目標に入らないことが分かった．当社では C/C 複合材を摩擦材として適用するために，必要な摩擦特性評価と改善に基礎的に取組んでいたが，リング/ディスク型の摩擦試験で，摩擦面温度 200℃前後に摩擦摩耗が急増する温度（以下，遷移温度と称す）があり[1]，この現象が摩擦係数を不安定にさせていると考えられた．文献によれば，摩擦係数の安定化のためには，黒鉛や炭素の固体潤滑性に水蒸気などのガス吸着が必要であり，より吸着エネルギーの高い有機物の蒸気導入により，遷移温度が上昇することが報告されている[2]．しかし，遷移温度は精々 400℃程度であり，ディスクブレーキへの適用を考えると，さらに高温域まで改善することが必要である．そこで C/C 複合材に吸着エネルギーの高い高カーボン数の炭化水素や吸水性の無機物を含浸させ，遷移温度を上げて高温摩擦特性の改善を試みた[3]．

#### 3．2．2　含浸剤の選定

ピッチ系短繊維分散型の C/C 複合材に含浸処理を施したリング/ディスク型試験片を用い，赤外線ランプの加熱による昇温摩擦試験（昇温速度 10℃/min）と一定温度下（100，200，500，950℃）の摩擦試験を行った．**図 3** (a)に温度上昇に伴う摩擦係数の変化を示す．無含浸の C/C 複合材の摩擦係数は，遷移温度が高いものでも 300℃到達前に急増したが，高カーボン数のドコサン（$C_{22}H_{46}$）あるいは塩化物を含浸したものは，それぞれ約 400℃，800℃まで遷移温度が向上した．さらに，高融点で吸水性の高い酸化物を含浸したものは，更に高い温度まで安定した摩擦特性を示した．

次に，最も効果のあった酸化物含浸材と無含浸材について一定温度下での摩擦試験を行った．各温度での摩擦係数と比摩耗量を図 3 (b)に示す．無含浸材の摩擦係数及び比摩耗量は 200℃で最大となり，それより低温側，高温側で低くなる傾向である．これに対し，酸化物含浸材の方は温度依存性がなく安定した摩擦摩耗特性を示した．また，熱重量及び質量分析結果から，摩擦特性改善の要因としては，高温までの保水性の向上が考えられる．

以上の結果を基に酸化物含浸 C/C 複合材を用いたブレーキ試験を行うことにした．

#### 3．2．3　試作機による摩擦係数安定化効果の確認

試作機によって無含浸 C/C 複合材と含浸 C/C 複合材を用いたブレーキ試験を行った．試験はフライホイールを用いた定置試験である．

**図 4** (a)はブレーキ初速 125 km/h から停止までの摩擦係数の時間変動を示す．無含浸材の場合は摩擦係数が 0.13～0.43 まで変動し，摩擦係数変動幅（以下，瞬間摩擦係数変動幅と称す）は 0.3 程度あるのに対し，含浸材の方の変動は少ない．また，停止までの平均摩擦係数は含浸 C/C 複合材の方が低くなっており，リング/ディスク試験による結果とも整合している．ブレーキ初速度，デ

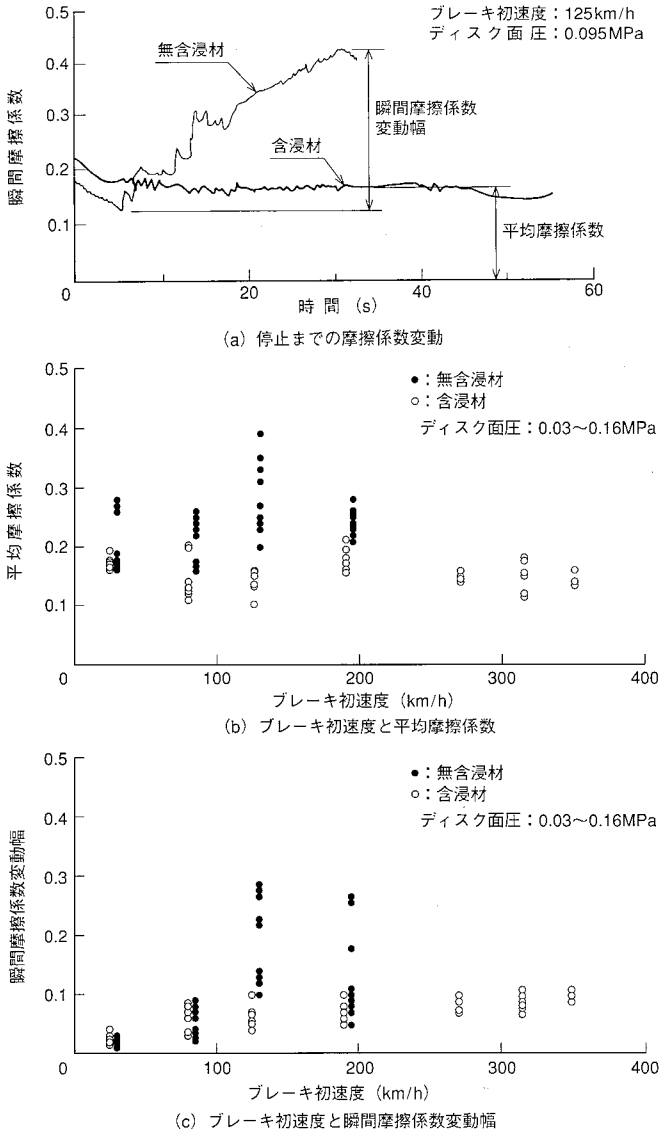



**図4　試作機による含浸C/C複合材と無含浸C/C複合材の摩擦特性の比較**　含浸材を用いたものは，ブレーキ初速度によらず，平均摩擦係数のばらつき，瞬間摩擦係数変動幅共に小さい．
Comparison of friction characteristics between incorporated and non-incoporated C/C composites

ィスク面圧を変えて，多数回のブレーキ試験を行った．ブレーキ初速度と平均摩擦係数及び瞬間摩擦係数変動幅の関係を整理したものが図4(b)，(c)である．初速度125 km/hからブレーキを掛けた場合，無含浸材の方は平均摩擦係数及び瞬間摩擦係数変動幅共に急増しているが，このとき，ディスク最高温度は300℃を超えており，遷移温度を超えたことが原因と考えられる．図4(b)の平均摩擦係数を見ると，無含浸材の方は0.15～0.4の間に分布し，ばらつきの幅は0.25であるが，含浸材の方は0.1～0.2の間に分布し，ばらつきの幅は0.1と安定化している．瞬間摩擦係数の変動幅についても，含浸材の方は全速度域にわたり，安定した値を示している．含浸剤の効果が確認できたので，酸化物含浸C/C複合材を用いた試作機で現車による試験を行うことにした．

### 3．3　耐酸化処理法の開発

C/C複合材は大気中で600℃以上に加熱されると，酸化消耗する．350 km/hからブレーキを作用させるとディスクは約1 000℃程度に上昇し，大気に触れる非しゅう動面に酸化消耗が生じるので，表面に耐酸化処理を施す必要がある．C/C複合材の耐酸化処理法は種々開発されているが，今回は塗工型SiCコンバージョン法を開発し，適用した．SiCコンバージョン法は宇宙用途等のために開発され，当社でも独自に研究開発を進めているが，本開発に適用した塗工型の特長は，必要な部分にのみ原料スラリーをはけ塗りし，窒素ガス中高温下で拡散処理を行うことにより，容易に必要な部分に耐酸化膜を形成できることである．拡散処理によりスラリー中の原料粉（$Si_3N_4$）とC/C複合材のカーボンとの間に下式の反応が生じ，表面にSiC層が形成される．断面観察の結果，表面から50～150 μmの深さまでSiCの形成が認められ，試験片による酸化試験により，350 km/hからのブレーキ回数が設計目標を超える40回相当の熱負荷に耐え，非常ブレーキ用としては十分なことを確認した．

$$Si_3N_4 + 3C \rightarrow 3SiC + 2N_2$$

## 4．定置試験及び現車搭載試験

### 4．1　試験方法

定置試験は，フライホイールを一定速度（最高350 km/h相当）まで加速した後，ブレーキを掛ける方法で行った．また，現車搭載試験は，JR東日本のSTAR 21試験電車の1号車第3軸に取付け，上越新幹線でブレーキ初速度310 km/hまで実施した．いずれも，試験は設定したブレーキ初速度から停止するまでブレーキを掛ける停止ブレーキを基本とした．

ディスク押付力については，定置試験では一定押付力を基本に，現車試験では，図5に示す押付力パターンとした．

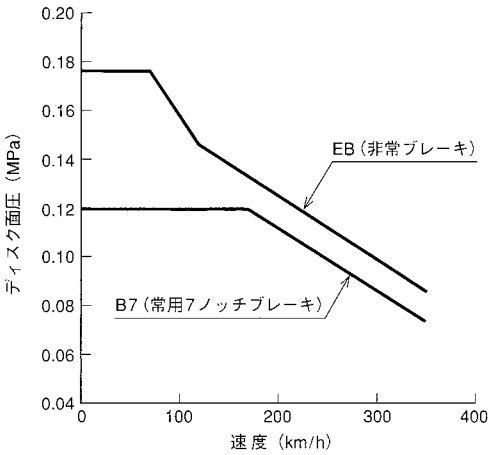



**図5　ブレーキノッチとディスク面圧**　高速新幹線のブレーキノッチとディスク面圧の関係を示す．
Relation between brake notch and disk surface pressure

### 4．2　試験結果

#### 4．2．1　摩擦特性

(1) 停止までの摩擦係数変動

現車試験における瞬間摩擦係数の変動を図6(a)に示す．初速度（110，210，267 km/h）からB7のブレーキを作用させた場合の，停止するまでの摩擦係数の時間的変動を示す．いずれの場合も摩擦係数の急激な変動は見られず安定しており，含浸剤の効果が得られている．

(2) ブレーキ初速度と摩擦係数

ブレーキ初速度と摩擦係数の関係を図6(b)，(c)に示す．平均摩擦係数は現車試験でも定置試験と同様なばらつき範囲に入っている．

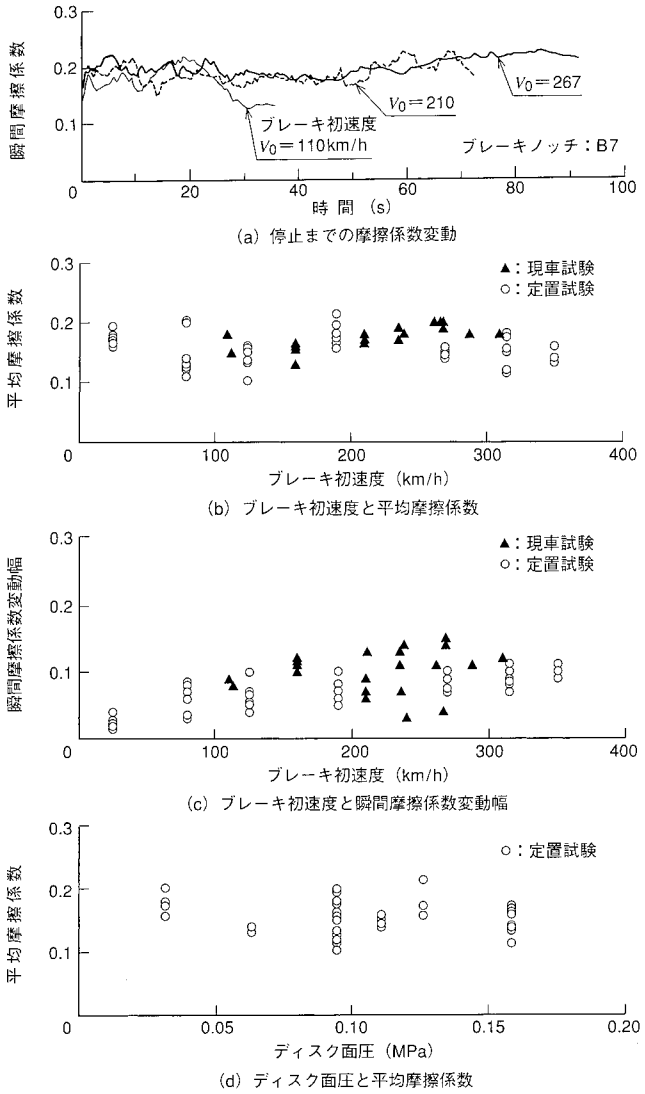



**図6　摩擦特性試験結果**　現車試験においても，定置試験と同様な摩擦安定性が得られている．
Test results of friction characteristics by actual brake test

瞬間摩擦係数変動幅については，現車試験では定置試験に比べやや増加しているが，変動幅は0.15以内に入っている．

(3) ディスク面圧と摩擦係数

ディスク面圧と平均摩擦係数の関係を図6(d)に示す．平均摩擦係数はディスク面圧に依存していない．摩擦係数が速度や面圧に依存しない性質はブレーキ材としては好ましいと考えられる．

#### 4．2．2　摩耗特性

定置試験における比摩耗量は，$4.2\times10^{-8}$ mm²/N であり，リング/ディスク試験の結果と大体合っている．この値は，非常ブレーキのみに使用する場合は問題ないが，常用ブレーキと併用する場合には，使用条件を検討する必要がある．

#### 4．2．3　温度特性

(1) ディスク温度

**図7**にブレーキ初速度とディスク最高温度の関係を示す．温度は中央のステータの摩擦面から5 mm内側の位置で計測している．グラフから350 km/hからのブレーキでは，ディスク最高温度は1 000℃を超えるため，ディスクの耐酸化処理，耐熱仕様の軸受等，熱対策が必要になる．

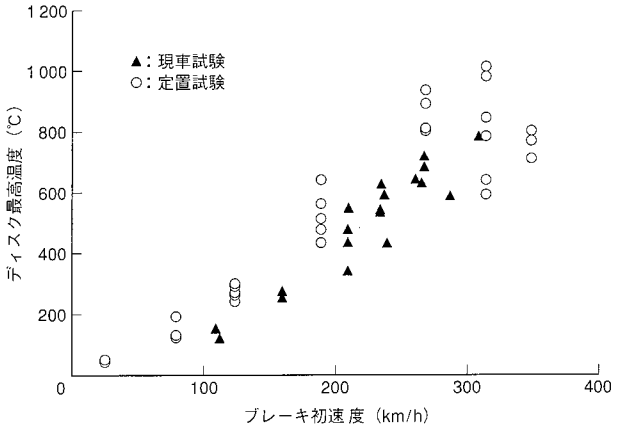



**図7　ディスク最高温度**　350 km/hからのブレーキの場合はディスク最高温度は1 000℃を超える．
Maximum temperature of C/C composites disk

(2) 軸受温度

軸受には高速回転による自己発熱とディスクからスプライン軸を介して伝わる熱による温度上昇があるため，許容温度200℃の耐熱軸受を使用し，強制冷却構造とした．冷却風は，現在の電動機冷却風をそのまま使用し，定置試験でも原則として冷却風を入れながら試験を行った．その結果，現車試験・定置試験いずれにおいても1回のブレーキによる軸受温度上昇は100℃程度であり，特に問題ないことを確認した．

(3) 耐酸化処理の効果

今回現車試験で用いたディスクには，塗工型のSiCコンバージョン法の耐酸化処理を施したものを用いた．現車試験の熱負荷は十分ではなかったが，試験後の分解検査では酸化の形跡が見られず，本処理法の実用の可能性に見通しがついた．

## 5．む　す　び

ピッチ系短繊維分散型C/C複合材に酸化物を含浸させたディスクブレーキを試作し，定置試験並びに現車試験を行い，従来に比べ摩擦特性の安定した装置の開発に見通しを付けた．また，耐酸化処理法や機械構造の改善により，350 km/hからの非常ブレーキに対し，熱・振動等についても問題ないことを確認し，C/C複合材ディスクブレーキ装置の今後の実用化へ向けて大きく前進することができた．最後に，全般にわたるご指導並びに現車試験の機会を与えて頂いた東日本旅客鉄道(株)に深く感謝致します．

### 参　考　文　献

(1) 松井，C/C複合材の摩擦摩耗特性に及ぼす雰囲気の影響，トライボロジー会議予稿集 (1994-10) p.645
(2) Lancaster J. K. et al., The influence of environment and pressure on the transition to dusting wear of graphite, J. Phys. D：Appl. Phys., 14 (1981) p.747
(3) 松井ほか，C/C複合材の高温摩擦摩耗特性の改善，トライボロジー会議予稿集 (1996-10) p.539

# ノンストップ料金収受システムの開発

Development of Non-Stop Toll Collection System

神戸造船所　村越英之[*1]
技術本部　浜名通夫[*2]　宮本一正[*3]

ノンストップ料金収受（Electronic Toll Collection：ETC）システムは，料金所での渋滞緩和や人的経費の削減それに加えてキャッシュレス化による利用者サービスの向上のほか，排気ガス及び発進加速騒音の低減など環境の改善が期待されるため，有料道路への適用が特に海外において進められている．本報ではこのETCシステムに必要とされる要素技術及びシステム技術について述べ，マレーシア向け及びシンガポール向けシステムの運用実験結果について報告する．当社においては，1984年からこのシステムの研究開発に着手し，長年の研究成果により得た無線通信技術，画像処理技術等の要素技術とシステム化技術により前記の海外向けシステムを受注した．

The Non-stop Toll Collection System can ease traffic congestion, reduce cost of manpower and improve customer service by cash-less tolling. Also, it can bring about environmental improvements by reducing the exhaust gas and noise emitted as vehicles start or accelerate from toll plazas. Therefore, its application to toll roads has been increasing especially in foreign countries. This report covers the elemental technology and system technology needed for the Non-stop Toll Collection System and the result of system operation tests in Malaysia and Singapore. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. started the development of this system in 1984, and has received orders for the system from the countries mentioned above. The system employs elemental technology and system technology using RF communication and image processing obtained by many years of research.

## 1. まえがき

ノンストップ料金収受（Electronic Toll Collection：ETC）システムは，料金所における料金収受業務を無線通信により実施するもので，通行車両は料金所で一時停止の必要がなくなり，排気ガス及び発進加速騒音の低減など周囲環境の改善や燃料節約，走行時間の短縮といった経済効果が見込まれるものである．本システムの導入では欧米が先行しているが，近年アジア地域での導入計画が活発化してきており，次世代料金収受機械としての導入が世界的動向となっている．当社は，1984年から研究開発に着手し，マレーシア南北道のETCシステムと市内への交通流入制限を行う道路課金システムであるシンガポール道路課金（Electronic Road Pricing：ERP）システムを受注した．

本報では，ETCシステムの概要と基本要素技術となる無線通信技術，画像処理技術及びシステム化技術について紹介する．また，実施事例として先の海外向けシステムの運用実験結果について述べる．

## 2. ETCシステム概要

ETCシステムは，料金所に設置された路側アンテナと車両に搭載された無線機器間の無線通信により料金を徴収することで，車両がノンストップ・ノンタッチで通行できる．システム構成は，無線通信用のアンテナ及びアンテナ制御器，車線での車両の存在検知を行う車両検知装置，不正車両等の通行阻止や撮影を実施する装置及びこれらの機器を統合制御する車線制御装置等から成る．ETCシステムは料金所の車線形態により，シングルレーンETCシステムとマルチレーンETCシステムに分類できる．前者は通常の料金所のように1車線ごとに料金収受を行うもので，基本的には1車両ずつ逐次処理を行う．一方，後者は高速道路本線のような，複数車線を走行する複数車両に対して同時に料金収受を行うものである．各々のシステムを以下に述べる．

### 2.1 シングルレーンETCシステム

#### 2.1.1 システム構成

シングルレーンETCシステムは，既存料金所のように車線が1車線ごとに完全に分離されている場合に適用されるシステムで，料金所に進入する車両を車線ごとに1台ずつ逐次処理することを前提としたシステムである．このシステム構成例を図1に示す．図に示すように，シングルレーンシステムは路側アンテナ，車両検知装置及び表示器等により構成されるが，車種ごとに通行料金が一定な均一区間制道路の料金所車線と走行距離と車種によって通行料金が変わる大規模な対距離制道路では，車線での料金収受機能が異なるため，システム構成も異なったものとなる．

#### 2.1.2 システムの機能

シングルレーンETCシステムは，例えば既存の料金収受員がい

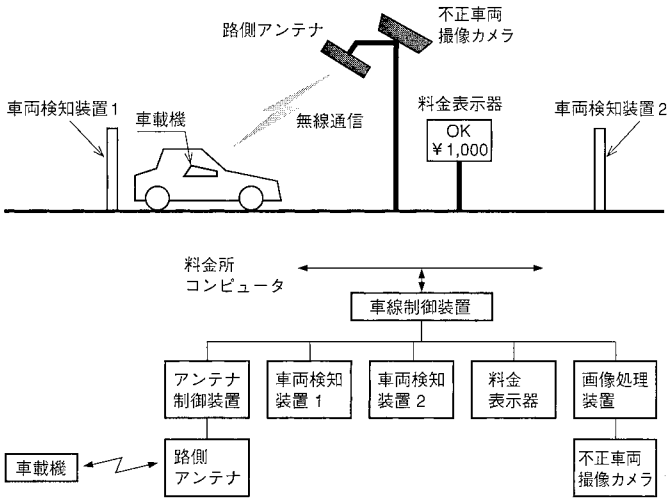



図1　シングルレーンETCシステムのシステム構成例　料金所車線に適用されるシングレーンETCシステムの構成例を示す．
Example of system configuration of single lane ETC system

*1 電子・宇宙技術部料金システム開発課
*2 高砂研究所電子技術研究室主任

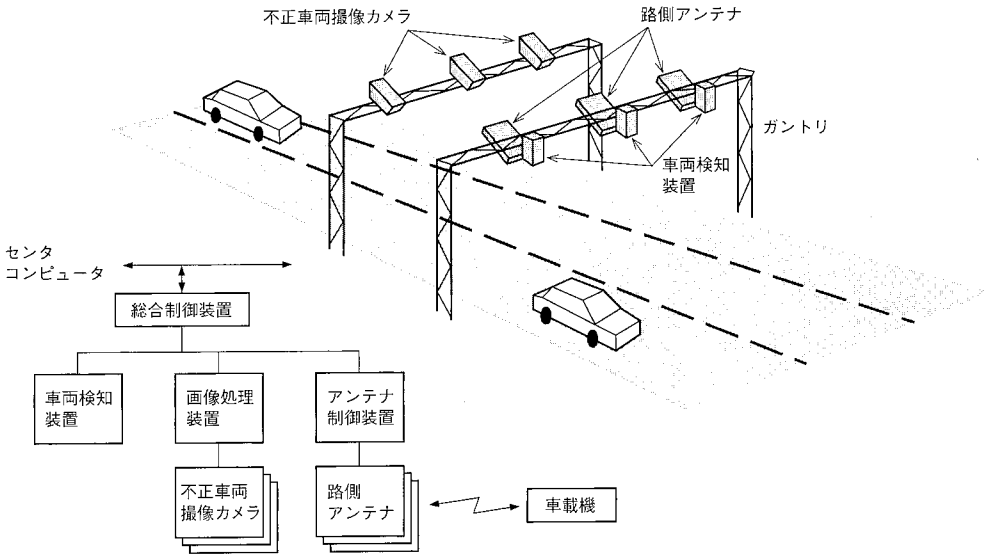



**図2　マルチレーンETCシステムのシステム構成例**　高速道路本線上に適用されるマルチレーンETCシステムの構成例を示す．
Example of system configuration of multi-lane ETC system

る料金所にETC機器を追加設置する方式での導入が主であるため，既存の料金機器（車両検知装置，遮断機，表示器等の路上機器や料金集計を行う上位機器とのインタフェースを持つ車線制御装置等）とのシステム化を行うことが多い．

前項で述べたようにこれら既存の料金機器構成は，均一区間制道路や対距離制道路（入口・出口料金所）といった道路別，料金所別により異なる．シングルレーンETCシステムの基本機能を以下に示す．

- 車両の進入検知及び無線通信の開始
- 車載機との無線通信による料金収受
  （入口料金所番号，時刻等の書込み，読取り及び料金収受）
- 徴収した金額の表示
- 車両の通過検知
- 通過車両が不正車両の場合のナンバプレート撮像

### 2．2　マルチレーンシステム

#### 2．2．1　システム構成

マルチレーンETCシステムは，有料道路の本線のように複数車線に複数の車両が同時に走行する場所に適用されるシステムで，料金所に進入する車両を複数台同時処理することを前提としたシステムである．

このシステム構成例を図2に示す．図に示すように，マルチレーンシステムは走行車線をまたぐような形で設置されたガントリ上の複数の路側アンテナ，車両検知装置及び不正車両撮像カメラ等により構成される．

#### 2．2．2　システムの機能

マルチレーンETCシステムは，有料道路の本線上にETC機器を設置するため，料金所車線に設置されるシングルレーンシステムの場合に比べ，通過する車両の走行速度が速く，また車線における車両の走行位置を特定する必要がある．

したがって，複数車線の高速走行車両を同時に処理するための高速処理と，料金を収受した車両を特定するために路側アンテナの通信領域狭域化が必要である．マルチレーンETCシステムの機能を以下に示す．

- 車載機との無線通信による料金収受
  （入口料金所番号，時刻等の書込み，読取り及び料金収受）
- 車両検知装置による車両の通過レーン位置検知
- 無線通信実施の車両走行位置を特定
- 通過車両が不正車両の場合，前記で検知された位置のカメラでのナンバプレート撮像

## 3．ETC要素技術

ETCシステムの構築には，無線通信技術を始めとする様々な要素技術が必要である．また，これら要素技術を統合するシステム化技術も必要となってくる．以下にETCシステムの主要素技術である無線通信技術，車両検知技術及び不正抑止技術の概要を紹介する．

### 3．1　無線通信技術

#### 3．1．1　無線通信への要求事項

(1) 高信頼性

ETCシステムでは金銭情報を取扱うため，無線通信に対し高い信頼性が要求される．

通常，データのビット誤り率は$1\times10^{-5}$以下が求められる．

(2) 通信領域の限定

上記信頼性を得るためには十分な電波強度を供給する必要があるが，アンテナ出力が大きすぎると隣接車線のアンテナとの干渉や前後車両との誤通信が発生する．したがって使用するアンテナは，指向性を絞り通信領域を限定する必要があり，本システムに使用する路側アンテナの通信領域は3×3 m（道路幅方向×進行方向）程度としている．

(3) 高速データ伝送

前記のように限定した通信領域においても十分な信頼性を確保し，大量のデータを送受信するためには，データ伝送速度の高速化が必要となる．データ伝送速度は対象となる車両速度，データ量によるが，500 kbps以上を必要とする場合が多い．

#### 3．1．2　無線通信の主仕様

ETCシステムのデータ通信には，前項の要求を満足する媒体として，赤外線通信や無線通信が考えられる．当社ではアンテナの汚れ等の影響が少ない準マイクロ波帯もしくはマイクロ波帯の無線通信を用いている．

この無線通信機器の仕様の一例を表1に示す．

表1　無線通信機器の仕様
Specifications of RF communication equipment

| 項　目 | 仕　様 | 備　考 |
|---|---|---|
| 路側アンテナ | | |
| 周波数帯 | 2 450 MHz 帯*3 | *1 周波数帯及び出力は各国の事情により異なる |
| 出　力 | 300 mW 以下*1 | |
| 偏　波 | 円偏波 | |
| データ伝送速度 | 600 kbps 以上*2 | *2 適用システムによる |
| 変調方式 | ASK*3 | *3 Amplitude Shift Keying |
| 通信領域 | 3（路幅方向）×4 m（進行方向）*4 | *4 車載高さ 1 m を前提 |
| 車載機 | | |
| 方　式 | パッシブ方式（バックスキャッタ方式） | |
| 変調方式 | PSK*5 | *5 Phase Shift Keying |

### 3．2　車両検知技術

#### 3．2．1　車両検知への要求事項

(1) 高信頼性

ETC システムには先の無線通信技術と同様に，車両検知に対しても高い信頼性が要求される．通常，車両の誤検知率として，$1\times10^{-3}$以下が求められる場合が多い．

(2) 車両の分離

連続して走行する車両や隣接して走行する車両を確実に分離し，通過する車両の位置と台数を正確に検知する必要がある．通常，車両分離能力として，数百 mm 以下の値が求められる．

(3) 高速走行車両の対応

車両を検知し車両特定を確実にするためには，センサの高速応答及び処理の高速化を図る必要がある．特に有料道路本線における高速走行車両を対象とする場合重要となる．

#### 3．2．2　車両検知装置の主仕様

車両検知方式として，光電センサ，ループコイル，踏板等種々の方式があるが，シングルレーンシステム，マルチレーンシステム共に適用可能なものとして，オーバヘッド型の車両検知装置の仕様を**表2**に示す．

表2　車両検知装置の仕様
Specifications of vehicle detector

| 項　目 | 仕　様 | 備　考 |
|---|---|---|
| センサ部 | 一次元カメラ | |
| 画素数 | 2 048 画素 | |
| 駆動クロック | 8 MHz | |
| 検知範囲 | 4 800 mm（幅方向）*1 | *1 適用システムによる |
| 分離精度 | 250 mm（幅方向及び進行方向）*1 | |
| 制御部 | | |
| 応答時間 | 30 ms 以下 | |

### 3．3　不正抑止技術

ETC システムの導入は，料金所における料金収受作業を無人化するものであるため，不正車両の処理についても遮断機や不正車両撮像カメラ等の不正抑止装置の設置が必要となってくる．以下に不正抑止に対する要求事項と仕様について述べる．

#### 3．3．1　要求事項

(1) 不正車両の確実な捕そく

料金所では不正車両と正常車両が混在し，連続あるいは隣接して走行するため，不正車両のみを正確に捕そくする必要がある．不正車両撮像カメラは分解能，照度等について十分考慮し，必要とする画像を高品質で撮る必要がある．

(2) 高速走行車両の対応

有料道路本線における高速走行車両を確実に捕そくするためには，車両検知センサの高速応答及び処理の高速化を図る必要がある．

#### 3．3．2　不正抑止装置の主仕様

ETC システムに適用している不正抑止装置としては，遮断機，不正車両撮像カメラ等があるが，ETC システムの特徴であるノンストップ料金収受を前提とすると，カメラによる不正抑止が一般的である．この不正車両撮像装置の仕様を**表3**に示す．

表3　不正車両撮像装置の仕様
Specifications of equipment to capture image of invalid vehicle

| 項　目 | 仕　様 | 備　考 |
|---|---|---|
| センサ部 | CCD カメラ | |
| 視　野 | 2 500×2 500 mm | |
| 画素数 | 1 024×1 024 | |
| 分解能 | 2.5 mm/pixel | |
| 制御部 | | |
| 画像圧縮時間 | 500 ms 以下*1 | *1 画像圧縮率：約 1/10 のとき |

## 4．ETC システム技術

ETC システムには，先に述べたような無線通信技術や車両検知技術といった要素技術と共に，これら要素技術を統合し，システムとして料金収受，不正車両捕そくといった機能を実現するシステム化の技術が必要不可欠である．

このシステム技術は，シングルレーンシステムにおいては車両1台ごとの逐次処理となるが，ETC 以外の一般車両の混在を容認した車線では車両特定等に高度なシステム技術が必要となる．

一方，マルチレーンシステムにおいては複数車線を走行する複数車両を同時に処理するために，無線通信した車両の走行位置の同定や不正車両の特定等高度なシステム技術が必要となる．

以下にシステム化に関する要求事項について述べる．

(1) シングルレーン ETC システム

- 車両逐次処理を確実，スムースに実施
  （処理順序逆転の回避等）
- 既存機器がある場合，これらとの連動が可能
- 隣接車線との電波干渉の回避

(2) マルチレーン ETC システム

- 高速走行の複数車両を同時処理するための処理速度の高速化
- 通信車両の走行位置の特定
- 隣接アンテナとの電波干渉の回避

ETC システムの機器構成は要求仕様により異なるが，前述したシステム構成に加えてナンバプレート読取り装置や車種判別装置等の機器を追加することにより更に高度なシステムとなる．

## 5．実験運用事例

### 5．1　マレーシア ETC システム試運用

#### 5．1．1　概　要

シングルレーン ETC システムの導入例として，マレーシア ETC システムについて述べる．マレーシアでは，従来の有人料金収受方式に代るノンストップ料金収受方式の導入が計画され，この試運用が North Klang Valley 高速道路において 1994 年 11 月から実施された．試運転用は ETC システムの導入効果を確認するために，一般利用者も含め約 2 000 台に車載機を配布し，2 箇月間実

施された．当社は1994年3月にこの試運用システムを受注し，この試運用後，本格運用の10料金所への工事と25 000個の車載機を受注している．

以下に試運用システムの概要をまとめる．

- 適用区間　：Subang～Jalan Duta
- 通行料金体系：Closed System（対距離料金制）
- 車線数　：（専用入口1/専用出口1）×2料金所
  既存料金所車線の改造による
- 決済方式　：前納方式
- 車載機　：1ピース型

#### 5．1．2　ETCシステム導入効果

ETCシステム導入の効果を調査するため，試運用時の車線での処理時間とETC車線の利用台数を計測した．調査結果を次に示すが，ETCシステム導入により，車線での処理時間は手収受に比べ約1/3となり，導入の効果が大きいことが分かった．また1日の平均利用台数は，2料金所の合計で約1 600台となっており，車載機配布数2 000台の利用率が非常に高く，利用者に利便性が認められていることが分かる．

(1) 出口車線での処理時間

- 手収受車線　：14.7 s/台
- ETC車線　：4.1 s/台

(2) 利用台数

- Subang料金所（出口車線）　：約700台/日
- Jalan Duta料金所（出口車線）：約900台/日

### 5．2　シンガポールERPシステム

#### 5．2．1　概　要

マルチレーンETCシステムの適用例として，シンガポールERPシステムについて述べる．道路課金（Road Pricing）とは，市内へ流入する車両に対し課金することで，この流入量を制限するというもので，有料道路での料金徴収とは異なる制度である．シンガポールはこの道路課金制度として1975年から市内への車両流入規制のため許可証制度を実施している．

しかし，許可証の購入手続きや監視員の配置等の問題があり，これらを解消するために無線通信による道路課金システムの導入の検討が始められた．

このプロジェクトは1991年に国際的公募が実施され，これに応募した10コンソーシアムから3コンソーシアムが選ばれ，1994年と1995年の2回にわたる評価テストの結果，最終的に図3に示す当社のシステムが採用された．

このシステムの要求仕様を以下に示す．

- 車線分離帯のない一般道路での各種走行形態に対応できること．
- 不正車両の特定とこの画像撮影が可能なこと．
- 通行料金は車載機にセットされたICカードから引去りが行えること．
- 対象車両は単車以上のすべての車両とする．
- 料金収受可能最高速度：120 km/h
- 不正車両検知速度　：180 km/h
- 課金処理誤り率　：$10^{-5}$以下
- 車両の分離精度　：250 mm（前後・左右方向共）

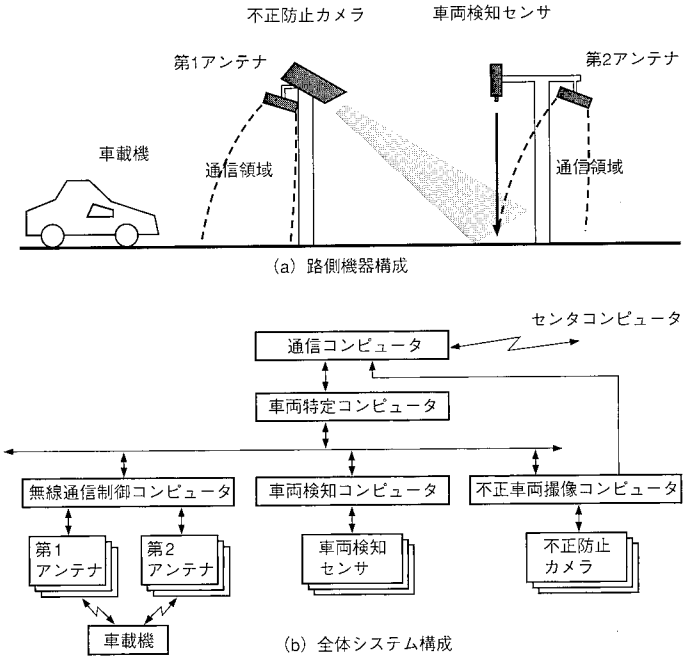



**図3　ERPシステム構成**　シンガポールに導入されたERPシステムのシステム構成を示す．
Configuration of ERP system

#### 5．2．2　試験結果

本システムの試作機による実車試験が1995年5月～7月に現地にて延べ8 000台の車両について実施された．以下に主な結果を示すが，（　）内に示す客先仕様をすべて満足している．

- 課金処理精度　：100％（客先仕様：誤り率　$10^{-5}$以下）
- 不正車両検知率　：100％（客先仕様：99％以上）
- ナンバプレート認識率：97％（客先仕様：95％以上）

さらに，1997年に実施されたシステム検証試験では，延べ100万台を超える車両を用いて，前記客先仕様を満足することが確認できた．

## 6．む　す　び

有料道路におけるETCシステムの導入や市内交通流入量制限のためのERP（道路課金）システムの導入はますます多くなってくるものと思われる．当社は前述したようなマレーシア向けあるいはシンガポール向けのシステム開発を経験し，これらシステム開発に対する貴重なノウハウを得た．今後はこれらの体験を生かし，エネルギー，環境問題の一つの解決策としての新たなETCシステム作りに挑戦を続け，更に社会に貢献する．また，ETCシステムに関連する標準として，ISO/TC 204があり，ここではTICS（Transport Information and Control System）の標準制定への検討作業が行われている．特にこのISO/TC 204のWG 5（AFC：自動料金収受），WG 1.3（AVI：自動車両識別）及びWG 15（DSRC：専用狭帯域通信）は，ETCに密接に関係があり，当社からも参加し，国際標準対応機器の開発にも積極的に取組んでいきたい．

# デュアルモードトラックシステムの開発実験

Research and Development of Dual Mode Truck (DMT) System

三原製作所　佐伯尋史[*1]　松本伸一[*2]
鈴木　洋[*2]
名古屋誘導推進システム製作所　池渕　博[*3]
神戸造船所　尾張伸行[*4]

環境への影響を考慮し，かつ現在のトラック輸送の形態を大きく変えることのない新物流システムの輸送方法として，電気自動車を基本としたデュアルモードトラック（DMT）システムの開発実験を進めている．本報では，建設省土木研究所において実施している高密度運行制御技術及び分岐・合流制御技術の開発状況を中心に報告するとともに，車両・案内誘導方式・信号通信技術についても併せて紹介する．

In consideration of the effect on environment and the transport method of the new freight transport system, which does not change the style of the existing freight transportation, we are researching and developing the Dual Mode Truck System which is based on electric vehicles. This paper mainly reports the development of short headway operation 1 to 3 seconds of headway on the dedicated guideways and computer-controlled vehicles merging at relatively high speed and with short headway at Public Works Research Institute, and also reports the vehicle specification, the method of guide apparatus and guide rail and communication system.

## 1. まえがき

近年，我が国の物流においては，産業構造の変化や国民の消費生活の多様化に伴い，輸送の小口化や多頻度化，ジャストインタイム等の高度かつ多様な輸送サービスが求められており，貨物自動車による輸送への依存度は極めて高くなっている．しかし，貨物自動車による輸送では，交通渋滞や交通事故等の問題のほか，大気汚染・騒音等の環境問題，運転者の高齢化や労働条件の悪化等の問題が顕在化してきており，更に輸送の合理化や流通コストの削減等が求められている．このような諸問題を抜本的に解決し，高度化する産業活動を支援するためには新しい物流システムの構築が必要である．

建設省では新しい物流システムとして，道路地下空間等を利用し貨物自動車による輸送を代替・補完するデュアルモードトラック（Dual Mode Truck：以下DMTと称す）システムを考えている．

## 2. DMTシステムの概念と特徴

DMTシステムは，一般道路と専用走行路を走行することが可能な電気駆動による無公害な車両を用いて物資輸送を行う新物流システムである．一般道路では，手動運転により走行し，従来のトラック輸送が持つ木目細かい集配サービスの特徴がそのまま生かされ，また専用走行路では，車両がコンピュータによる完全自動制御により走行する．このため，貨物輸送の効率化と省人化を図ることができ，しかも積替えをしないで戸口から戸口への一貫した輸送が可能となる．

## 3. システムの基本構成

DMTシステムの研究開発のため，建設省土木研究所のデュアルモード実験場にて平成5～8年度にかけて開発実験を段階的に行っており，平成8年度は，路車間通信装置，車両位置検知装置，車車間通信装置及び運行管理装置を設置し，平成9年最終段階のムービングターゲット法（MT法）を用いた分岐・合流制御と車間距離制御の評価試験を実施する予定である．

図1　実験中のDMT車両
DMT under testing vehicle

図1に実験中のDMT車両を示す．

図2にDMTのシステム構成を示す．このシステムは土木研究所実験場に設置され，軌道は高密度運行を行うため，デポ（出入口）に相当する分岐・合流制御区間とデポ以外に相当する車間制御区間に分けられている．この方法を採用することにより，地上すべてをコントロールする制御機器が不要になり，システム全体を安価にすることができる．本システム構成を以下に説明する．

DMT車両は，制御機器類を搭載し，バッテリ電源によってモータで走行するものである．本車両は自動運転走行と自動誘導操舵（だ）を行うための自動運転装置を持つ．また，車間の制御及び車車間の通信を行うための車間センシング装置を持ち，追突防止及び車両の隊列走行を可能にする．

*1 機械・プラント技術部建設課主査
*2 機械・プラント技術部機械・プラント制御設計課
*3 誘導・電子機器部電子設計二課
*4 電子・宇宙技術部料金システム開発課

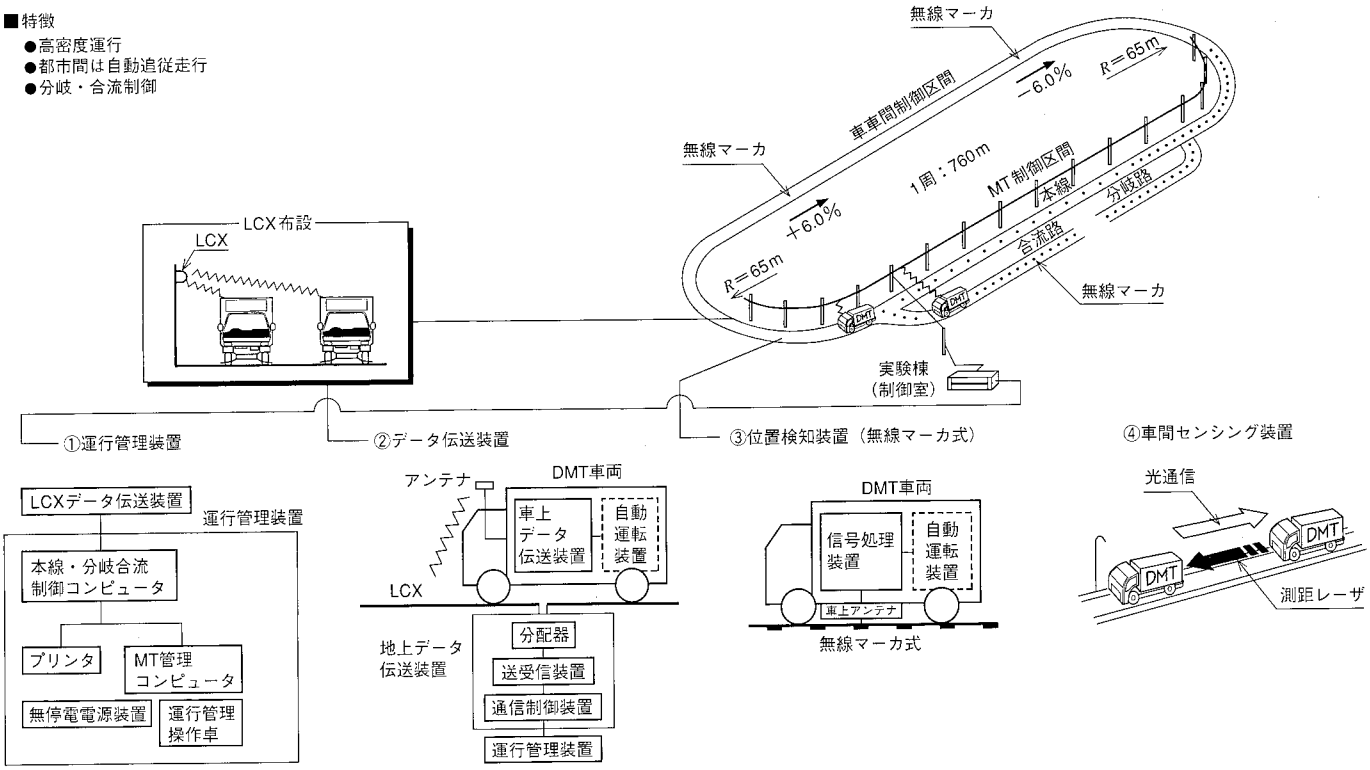



**図2　DMTシステム構成**　建設省土木研究所実験場でのシステム構成の模式図を示す．
DMT System Configuration

路車間通信技術としてのLCXデータ伝送装置は，大容量・高速通信を行うことのできる漏えい同軸ケーブル（LCX）を介して路車間でデータの送受信を行う．

無線マーカ式位置検知装置は路上のマーカの位置情報から車両の絶対位置を検出し，車両位置情報を伝える．

運行管理装置は，上記の無線マーカでの位置情報とLCXによる高速通信により車両を管理し，MT法を用いて分岐・合流制御を行い高密度運行を可能とする．

## 4．要素技術の開発と評価

### 4．1　車　　両

DMT車両は制御機器を搭載し，バッテリ電源によってモータで走行する電気自動車で，主電動機，電源装置，制御機器類は原則として床下に配置した（一部機器については荷台に設置）．

表1に車両主要諸元を示す．

**表1　DMT車両主要諸元**
Specification of truck-vehicle

| 項　目 | 諸　元 | |
|---|---|---|
| 車両番号 | DMT 1号車 | DMT 2号車 |
| 全長×全幅×全高 | 6 110×2 190×3 060 mm | 6 310×2 180×2 935 mm |
| 車両重量 | 5 050 kgf | 4 950 kgf |
| 最大積載量 | 1 290 kgf | 1 200 kgf |
| 最高速度 | (積車) 80 km/h | (積車) 72 km/h |
| 加減速度 | 3.5 km/(h·s) | 3.5 km/(h·s) |
| 主電動機<br>定格出力 | 3相交流かご型誘導式<br>37 kW | 直流分巻電動機<br>33 kW |
| EV制御方式 | ベクトル制御インバータ方式 | IGBTチョッパ制御方式 |
| 主電池 | 開放型鉛蓄電池 | 密閉型鉛蓄電池 |
| ブレーキ性能 | 常用：3.5 km/(h·s)<br>非常：14.0 km/(h·s) | 常用：3.5 km/(h·s)<br>非常：14.0 km/(h·s) |
| 一充電走行距離 | 113 km<br>(37 km/h定速走行) | 77.7 km<br>(40 km/h定速走行) |
| 自動制御装置 | 運転保安機能，案内装置制御，速度及び距離照査機能，運転操作機能，車間センシング装置，車車間通信機能装置 | |

### 4．2　案内誘導方式

DMTは，案内レールと車上案内装置による機械的な操舵方式を採用している．

案内装置は，案内輪と安定化装置で構成される．安定化装置は，直線区間では車両の直進性能を高め，曲線区間では外側の案内レールに沿った走行を可能にする．

また，分岐部では，安定化装置が案内輪を片側の案内レールに押付け，車上分岐装置としての役割を果たす．なお，一般道路走行時は案内輪を車体幅以内に格納するとともに，安定化装置を操舵系から切離なす．

図3に案内輪を示す．

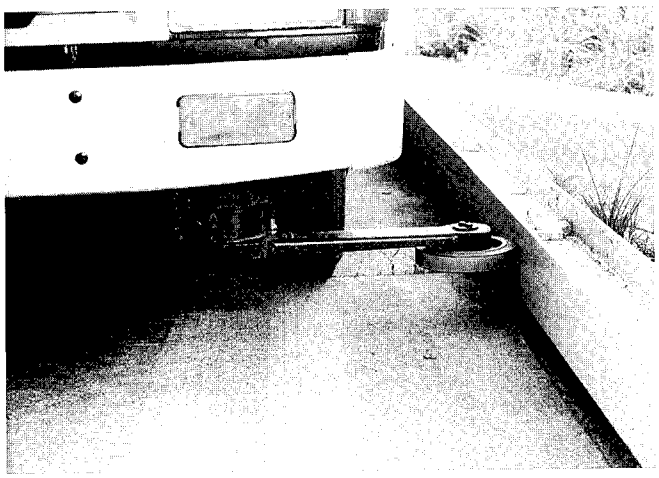


**図3　案内輪**　案内装置と案内軌条を示す．
Guide apparatus and guide rail

### 4．3　車間制御技術

図4に車間センシング装置（追尾光通信型レーザレーダ）のシステム構成を示す．

DMTでは，レーザレーダにより測距を行う車間センシング装置からの車間距離により車間制御を行い，また，車車間通信による前方車両の走行情報（力行，ブレーキ等）を後続車に伝えることにより複数車両の隊列走行を行う．

これらにより，DMT車両の車頭間隔を詰め整然とした車間制御が可能となる．

今回，車間センシング装置として市販品のレーザレーダ（スキャン型）とDMT用として航空機技術を応用した追尾光通信型レーザレーダ方式について評価試験を実施した．

表2に評価試験結果を示す．

試験結果から追尾光通信型レーザレーダ方式の方が検出距離・検出角度共に優れていることが分かる．このためインフラの道路曲率，道路こう配の制約を減らすことが可能である．

追尾光通信型レーザレーダは，最初前方車両の光源をサーチして，一度車両を捕えると前方車両を追尾し続け（ロックオン制御），測距用レーダ光により測距を行う．また，追尾用の光源を利用し前方車両の情報を後続車に伝送する車車間通信機能を有している．

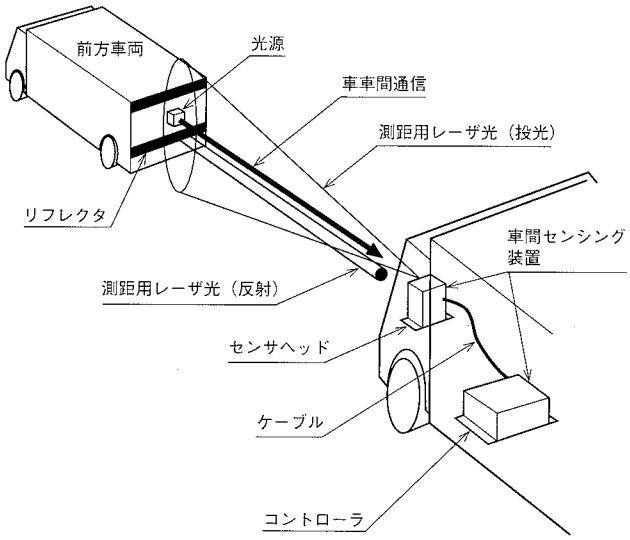



**図4　車間センシング装置システム構成**　車間距離測距と車間間の通信機能を持つ装置を示す．
Automatic vehicle spacing using laser-radar with optical communication

**表2　車間センシング装置評価試験結果**
Test result of automatic vehicle spacing using laser-rader

| 項　目 | | DMT開発品 | 市販品 |
|---|---|---|---|
| センシング方式 | | 追尾光通信型 | スキャン型 |
| レーザ光周波数発光波長 | | 880 nm | 880 nm |
| 通　信 | | 車車間通信 | — |
| 検出距離 | | 200 m | 150 m |
| 曲線部可能検出距離（$R$ 65 m） | | 48 m | 24 m |
| 検出角度 | 水平方向 | ±20° | ±12° |
| | 垂直方向 | ±6° | ±4° |
| 精　度 | | ±1 m | ±3 m |
| 分解能 | | 0.15 m | 0.15 m |
| 通信情報 | | 速度情報，力行，ブレーキ，等速度路線情報，非常制動 | — |
| 更新レート | | 最大10 Hz | — |

### 4．4　分岐・合流制御技術

DMTでは図2のシステム構成に示すように，制御区間を分岐・合流制御区間（MT法区間）と車間制御区間の2区間に分けている．

① 分岐・合流制御区間（MT法区間）

地上側の運行管理装置が仮想のターゲット（MT）を発生させて分岐・合流車両と車間制御区間から進入する車両を制御する．制御指令は路車間通信装置を介して車両に指示する．

② 車間制御区間

地上側設備の支援を受けずにDMT車両が自律自動運転を行う．自動運転は，車間センシング装置と車車間通信装置からの情報により車間制御を行うことで実現される．

次に分岐・合流制御区間のMT法について述べる．

DMTではショートヘッドウェイ（1～3s間隔の発車時間）高密度運行の分岐・合流制御を実現するためにMT法を採用している．この概念を図5に示す．MT法とは運行管理装置のコンピュータの中に仮想のターゲットを一定の間隔で走行させ，このターゲットに合せて実際のDMT車両が走行するように制御する方法である．MT法によりショートヘッドウェイでDMT車両を分岐・合流させることができる．

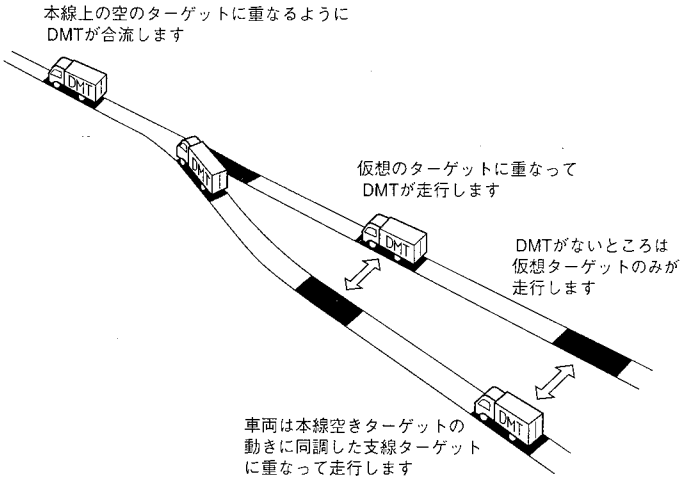



**図5　MT法の概念**　仮想のターゲットに合せ，車が走行するように制御する方法を示す．
Conceptual chart of moving target method

このヘッドウェイを確保するため，図6に示すようにMTを一定間隔で発生させる．通常はこのMTに合せて車間制御区間からMT法区間に車両が同期して入ってくれば制御は一定間隔で保たれる．

ただし，ヘッドウェイが数sと短いために非同期に進入してくる車両の場合，MTに同期させるため，複雑な加減速制御が必要となってしまう．したがって，DMTシステムでは，車間制御区間からMT区間への円滑な移行を行うために進入車両がMT発生点への到着に合せてMTの発生をシフト（一斉にMTを移動）させる方法により分岐・合流制御を安全でかつ簡素化している．

この分岐・合流制御区間を管理するために運行管理装置を設けている．この運行管理装置に使用しているコンピュータは32 bitパーソナルコンピュータでオペレーティングシステムはWindows NT 3.51を使用している．

ソフトウェア機能として，分岐・合流機能，データ伝送装置間送受信機能，データ保存処理機能，画面表示機能等を有している．

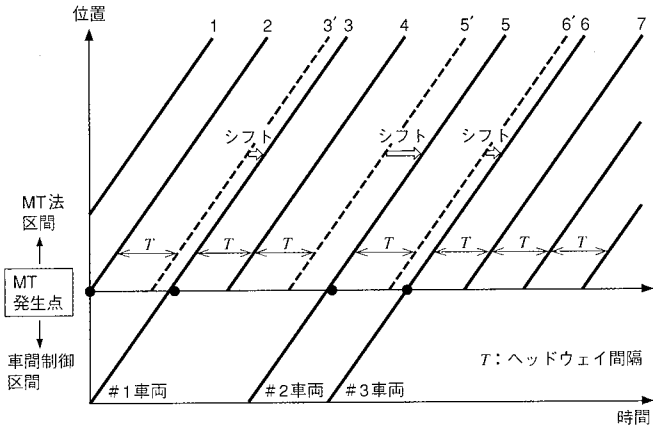



図6　MT発生図　非同期で進入する車に合せ，MT点をシフトさせたときのMT発生間隔を示す．
Imaginary moving points are shifted in computer when vehicle enters MT point without synchronously

### 4．5　路車間通信技術

DMTでは，MT法により高密度の分岐・合流制御を行うために路車間（運行管理装置とDMT車両間）で必要な伝送を行う．

また進入してくる車が1～3 sと短いため，この路車間での通信を1：1で確実におこなうためにポーリングセレクト方式を採用している．

つまり通信時間は8 msという短時間で行い，LCX無線機側は必要な情報量を蓄えたり出したりするインテリジェントな機能を持っている．

この通信速度に対応するため，運行管理装置の通信ハードとしてシリアル通信方式の約20倍の性能を持つバス方式による通信インタフェースを開発した．

表3にLCXの仕様，路車間の通信データを示す．

表3　LCXの仕様
Specification of LCX

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| 伝送速度 | 384 kbps |
| ポーリング周期 | 0.1～0.5 s |
| 通信方法 | 復信式 |
| 周波数 | 2.4 GHz帯 |
| 送信出力 | 1 W |
| 地上→車両<br>通信データ | 運行モード，速度指令，<br>非常停止指令 |
| 車両→地上<br>通信データ | 車両ID番号，車両走行位置，<br>車両走行速度，車両状態 |

### 4．6　車両位置検知技術

DMTでは，MT法による分岐・合流制御を行うために必要な車両位置を検出する方法として，路上に埋設した無線マーカからの絶対位置情報を車両に取付けたアンテナから読込む．読込まれた車両位置情報は，路車間通信装置を介して地上側の運行管理装置へ報告される．

また，無線マーカは絶対位置情報だけでなく，制限速度及び路線情報の書込みが可能なため，分岐・合流区間以外の車車間制御区間にも利用でき，車の運転をより円滑にすることができる．

本無線マーカは，2.45 GHz帯の周波数を使用しているためノイズに強く，また将来，無線マーカの出力する電波強度を利用して非接触自動操舵への展開も可能となる．また，車両から電源を供給される無電源方式のため保守も不要である．図7に構造を示す．

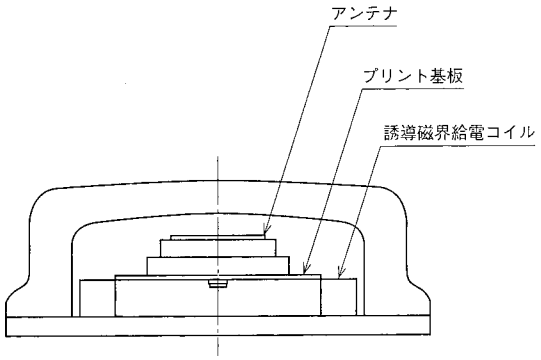



図7　無線マーカ　位置と速度情報を車に通信する構造を示す．
Radio maker

## 5．ま　と　め

これまでにDMTの高密度自動運転制御のための要素技術として，車両自動運転技術，自動操舵技術，車間制御技術，MT法による分岐・合流制御技術について開発実験を行い，平成9年度に引続き評価試験を実施する．

将来通信システムが2.4 GHzから5.8 GHzに移行するに伴い，新らたな通信システムの開発が必要となる．また，高速走行での諸機能の確認・評価を行うため，更に実験を進めていく予定となっている．

### 参　考　文　献

(1) 山田晴利ほか，新物流システム・デュアルモードトラックシステムの開発，土木技術資料38-1（1996）
(2) 上田　敏ほか，新物流システムに関する研究，第5回交通物流部門大会　日本機会学会

# 画像処理を用いたリアルタイム交通流計測システム

Real-Time Traffic Monitoring System Using Image Processing

技術本部　塘中哲也[*1]　宮本一正[*2]
見持圭一[*1]　斎藤真由美[*3]
神戸造船所　浦田秀夫[*4]

都市高速道路において渋滞情報を正確に把握し，入口規制等で交通流を最適化することが求められており，そのためには交通情報を遅れなく的確に把握する計測システムが必要である．そこで監視カメラの画像から道路上を走行する車両を識別し，走行速度や通行台数，空間占有率を計測する交通流計測システムを開発した．パイプライン方式と並列処理方式を融合したリアルタイム動画像処理システムにより，車両前面の水平エッジを利用する台数計測処理とテンプレートマッチングによる車両追跡処理を 60 ms ごとに実行できる．2 時間の画像を対象とした実験の結果，計測精度として通過台数誤差 5 %以内，速度標準偏差 10 %以内を得た．

Accurate traffic information is required to restrict the traffic flow at highway entrances in order to relieve traffic jams and to reduce traffic accidents in city areas. This paper presents a traffic monitoring system which extracts various traffic information, such as the number and speed of passing vehicles and the spatial occupancy of vehicles, from highway images taken by a road-side ITV camera. The system detects vehicle presence in specified lanes using the y-axis projection of horizontal edge of a vehicle image and tracks the vehicle by a template-matching algorithm. Our real-time image processing board is used for the detection and tracking of moving vehicles every 60 msec. Experiments using a 2 hour daytime image shows that the vehicle count error is within 5 % and the deviation of vehicle speed is within 10%.

## 1. まえがき

高度道路交通システム（ITS：Intelligent Transport Systems）は，最先端の情報通信技術等を用いて人と道路と車両とを結合するシステムとして構築することにより，安全運転の支援，交通管理の最適化，道路管理の効率化などを図るものである．この中で，物流における環境問題，安全性等の多面的立場から，交通流の最適制御がその要素技術として再認識されてきている．また，都市高速道路においては，渋滞状況を正確に把握し，入口規制等で交通流を最適化したいというニーズがある．そのためには，交通情報を遅れなく的確に把握する交通流計測システムが必要である．

従来の交通流計測システムは超音波センサを用いた車両検知信号を基に，基本的な交通流データとして，次の量を算出している．

- 交通量　：単位時間の車両通過台数
- 平均速度　：単位時間に通過した車両の速度の平均値
- 時間占有率：単位時間内に道路上の一地点が車両によって占有された時間の割合

これに対して，テレビカメラからの空間的情報入力の画像処理による，複数レーンに対する交通流データ計測，渋滞状況が分かる空間占有率（単位距離中で車両によって占有されている距離の割合），事故発生等の突発事象の検知，状況自動監視が可能な総合的かつ高度化した交通流計測システムが注目されている．

こうした動向の技術的背景として，カメラやコンピュータの高性能低価格化と画像認識アルゴリズム研究の進展がある．すなわち，テレビカメラで撮影した動画像を高速に処理するコンピュータシステムの開発や，天候気象等の環境変化や交通状況の変化に柔軟に対応可能なロバストな画像認識アルゴリズムの研究により，基本的な交通流データのほかに，先に述べた従来以上の木目細かい交通情報の計測の可能性が生まれてきている．

本報ではこれらを実現するキー技術として，高速動画像処理が可能となる並列処理アーキテクチャ，並列処理ソフトウェア，及び各種画像変動外乱に対応可能な画像処理ソフトウェアについて説明し，現状での具体的画像データを用いた性能評価について報告する．

## 2. システム構成

画像処理による交通流計測を実現するため，次の 3 台の計算機を接続したシステムを構築した．

- 画像処理機
- データ交換機
- データ処理機

システムの全体構成を図 1 に示す．

画像処理機は，カメラインタフェースから入力される動画像をリアルタイムで処理し，通過する車両の台数，個々の速度，空間占有率を計測する．計測結果を順次データ交換機に送信すると同時に，入力動画像と計測結果を重ね合せた映像をモニタへ出力し表示させる．

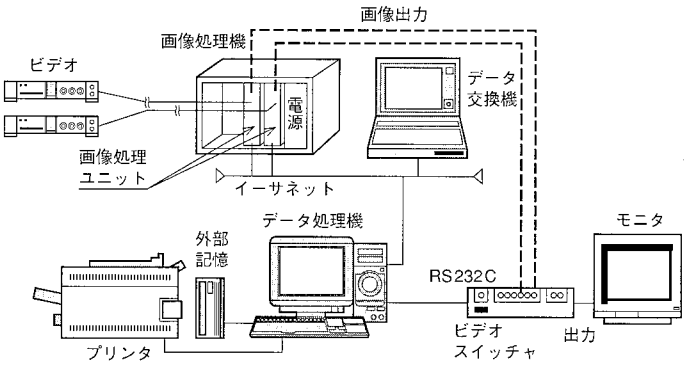



図 1　システム構成　交通流計測のシステム構成を示す．
System configuration

*1 高砂研究所電子技術研究室
*2 エレクトロニクス技術部システム技術開発センタ
*3 エレクトロニクス技術部システム技術開発センタ
*4 神戸造船所

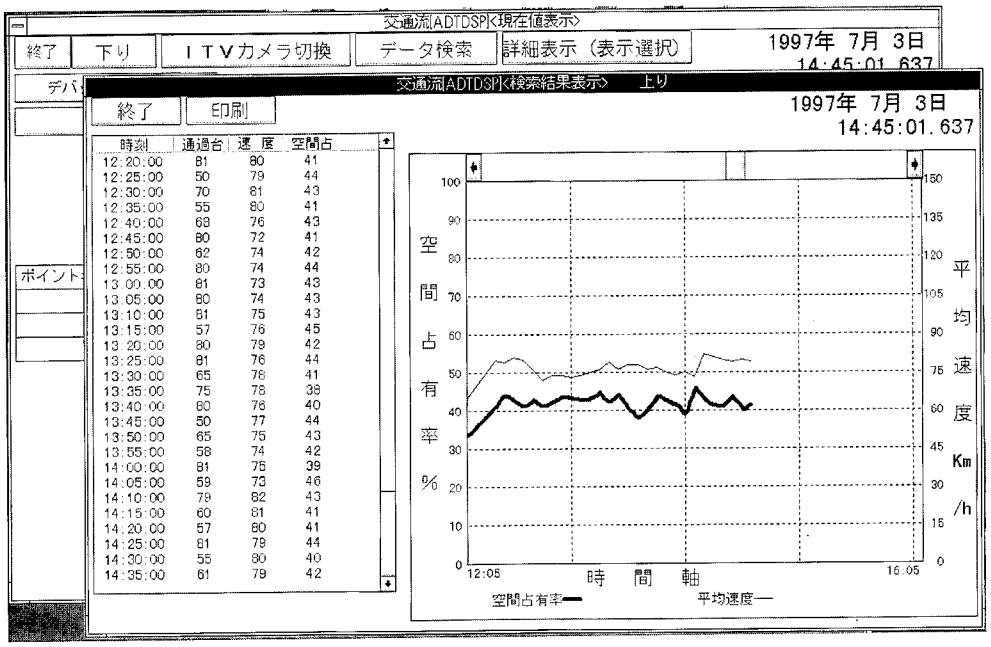



**図2　データ処理機の結果画面例**　データ処理機が通過台数及び速度計測結果を5 minごとに集計し，平均速度と空間占有率を表示している．
Example of result data display

データ交換機は，計測結果を保管する．画像処理機から受信した計測結果を保管のための形式に変換し，ハードディスクに記録する．

データ処理機は，計測結果のデータベース機能を提供する．データ交換機に記録された計測結果を一定時間ごとに取込み，データベースを更新する．オペレータは，このデータベースを用い計測結果を様々な角度から調べることができ，交通流の現状や変動の傾向を的確に把握することができる．これを基にしてオペレータは交通流の状況を予測し，高速道路の入口規制等の判断を下し適切に交通流を制御するといったことが可能となる．

図2にデータ処理機の表示例を示す．本例では，過去75 minの計測結果について5 minごとに集計し，平均速度及び空間占有率を算出している．

## 3. 画 像 処 理 機

### 3. 1　リアルタイム動画像処理

監視カメラの画像から道路上を走行している車両を識別するためには，時々刻々変化する画像に対する処理をリアルタイムで実行する動画像処理が必要である．

動画像処理装置に求められる演算としては，(1)入力画像と背景画像から画像が変化する領域やその相関値の算出，(2)連続する2枚の画像を使った移動ベクトルの算出，(3)それぞれの結果を基に移動物体を含む領域の決定や速度の算出，等が挙げられる．

これまでの画像処理装置は，専用の画像処理LSIをパイプライン状に接続したもので，主に画像フィルタ（平滑化やエッジ強調）等の単純な前処理の高速化に適している[1]．しかし移動物体の検出やその移動速度を求めるような複雑な処理は，画像をはん用プロセッサに転送して処理させる以外に方法がなかった．このためリアルタイム性確保が不可能であった．

従来，はん用プロセッサに行わせた演算に対し，特殊なLSIを開発すれば速度の問題は解決できそうだが，コストも高く，演算内容が固定化されてしまう．そこでソフトウェアで処理内容が変更でき，かつ高性能な動画像処理装置の開発が求められていた．

### 3. 2　ハードウェア

#### 3. 2. 1　特　　徴

画像処理機のハードウェアの特徴は，従来のパイプライン方式と複数のDSP（Digital Signal Processor）による並列処理方式を統合した点にある．これにより単純な前処理は専用のハードウェアで高速処理し，より複雑でソフトウェア処理が必要となる部分は，演算負荷を複数DSPに分散させ並列処理することにより処理時間を短縮できる．

#### 3. 2. 2　構　　成

画像処理機は，カメラ，はん用CPUボードと今回開発した動画像処理ボードから構成される（図3参照）．動画像処理ボードはベースボードと種々のモジュールから構成される．基本システムでは様々なニーズに適用できるように，並列DSPモジュール，空間フィルタモジュール，画像入出力モジュールの3つのモジュールを1枚のベースボードに搭載して利用した．ベースボードを追加すれば多数のモジュールを用いた大規模な動画像処理システムの構築も可能である．

(1) 画像入出力モジュール

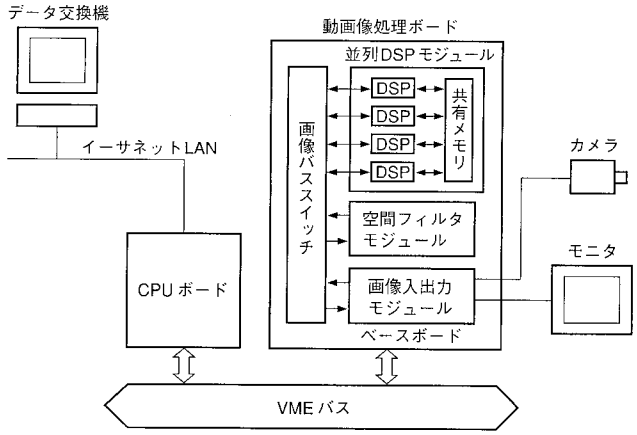
ビデオ入出力インタフェースと画像メモリから構成される．ビデオ信号に合せて1 sに30フレームの画像を順次640×480画素のディジタルデータとして画像メモリに取込むと同時に，処理時間に合せて他のモジュールに出力する．

(2) 空間フィルタモジュール

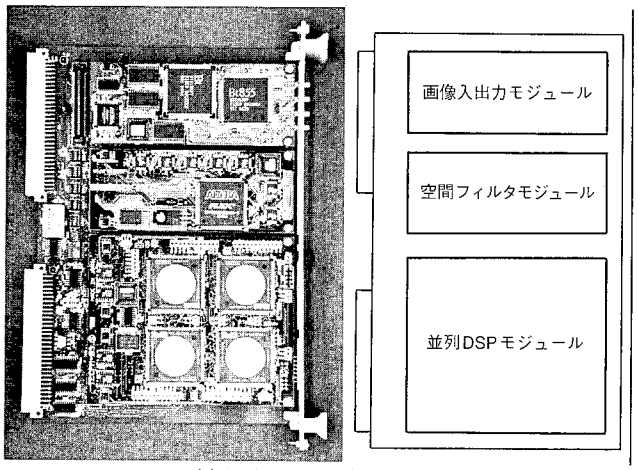
他のモジュールから入力される画像に対し順次空間フィルタ演算を行い出力する．フィルタのサイズは従来の3×3画素に対し最大7×7画素と約5倍の大きさである．また動作周波数は40 MHzで，640×480画素の画像1フレームの空間フィルタ処理を1/30 sに4回以上実行することができる．

(3) 並列DSPモジュール

4つのDSPと共有メモリから構成され，動画像処理を協調して行う．DSPの計算速度は1台当り120 FLOPSと高速で，4台で480 MFLOPSとなる．共有メモリとDSP間の転送速度は160 Mbyte/sで，これは1フレームを640×480画素として1 sに




(a) 画像処理機の構成




(b) 動画処理ボード（基本構成）

**図3　画像処理機の構成**　並列DSPモジュール，空間フィルタモジュール，画像入出力モジュールを搭載した動画像処理ボードとCPUボードから構成される．
Image processing system

520フレーム分に相当する．また入力4，出力4の画像ポートが4つのDSPに直接接続されており，各ポート40 Mbyte/sで転送が可能である．

(4) ベースボード

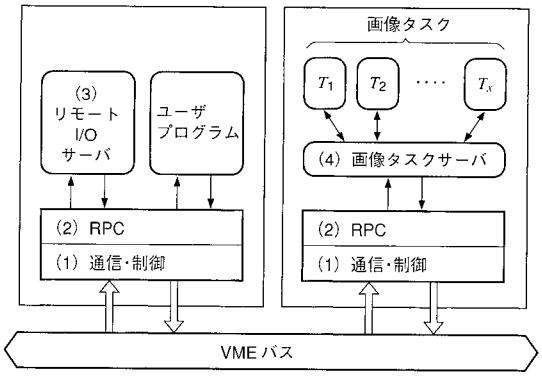
ベースボードはシステムの核となるボードで，最大4つの画像モジュールまで搭載することができる．画像モジュール間を接続するための画像バススイッチを備えており，任意の画像モジュール間で40 Mbyte/sの高速画像転送が可能である．さらに接続はソフトウェアにより制御でき，処理アルゴリズムに応じてシステム構成を動的に変更できる．

### 3．3　ソフトウェア

#### 3．3．1　画像タスクライブラリ

動画像処理のアプリケーションを効率的に開発するための画像タスクライブラリを開発した（図4参照）．これまでシステムの性能を最大限発揮させるにはDSPや画像モジュール間の通信や同期処理のためにソフトウェアによる低レベルの実行制御が不可欠であった．そこで開発したライブラリでは，基本的な画像処理アルゴリズムをタスクとしてまとめ，タスク間の実行制御を行うタスクスケジューラを用意した．これによりタスクの組合せを指定するだけで一連の動画像処理アプリケーションを構築することができる．

画像タスクライブラリでは，パイプライン処理に適したパイプラインタスクとそれ以外の非パイプラインタスクの2種類を開発した．パイプラインタスクは，画像ポートから直接データをDSPに取込みながら処理を行い，結果を直接画像ポートに出力するタスクである．空間フィルタモジュールなどの他のハードウェアモジュールとDSPを組合せてパイプラインを構成することが可能である．非パイプラインタスクは，いったん共有メモリ上に取込まれた画像に対し処理を行う．複数のDSPに異なる領域を処理させることにより，処理時間を短縮することができる．




| | |
|---|---|
| (1) 通信・同期 | CPU−DSP間の通信・同期 |
| (2) RPCライブラリ | 異種プロセッサ間の遠隔手続き呼出しRPC |
| (3) リモートI/Oサーバ | DSPに対しCPUでのI/O操作機能を提供 |
| (4) 画像タスクサーバ | DSPでのタスクの生成，スケジューリング機能をCPUに提供 |

**図4　並列画像処理ソフトウェアの構成**　画像タスクを組合せて動画像処理アプリケーションの効率的な開発が可能．CPUとDSP間でRPCが利用可能である．
Structure of software library for real-time vision system

#### 3．3．2　RPCライブラリ

アプリケーションによっては，DSPとCPU間で複雑な制御が必要になる場合がある．そこでCPUがDSPのサブルーチンを直接呼出したり，またその逆を行うためのRCP（Remote Procedure Call）ライブラリを開発した．

タスクの生成やスケジューラの起動を行う画像タスクサーバやDSPからCPUのI/Oをアクセスするためのリモート I/OサーバをRPCを利用して実装している．

## 4．計測処理アルゴリズム

画像処理による交通流計測の特徴は，アクティブな照明ができない屋外シーンの撮像であるため，太陽光外乱，気象条件による光外乱や車両通過によるカメラぶれ等の影響を受けやすいこと，出現事象のシナリオが予知不可能なことである．したがって，これらの種々の状況変化に対してロバストな画像処理手法を開発する必要がある．空間的情報の連続的入力により従来の計測手法では困難であった各種特徴量の計測の可能性が期待できる．ここでは，車両台数及び速度計測について基本アルゴリズムを前記画像処理機に実装し性能を評価した．

### 4．1　台数計測処理

車両を検知し台数を計測するアルゴリズムを以下に示す．

(1) 画像中に台数計測用の車両検出領域を設定する（図5下部の長方形枠）．

(2) 車両前面は水平エッジが多いことを利用して領域内を微分フィルタをかけて車両を抽出する．

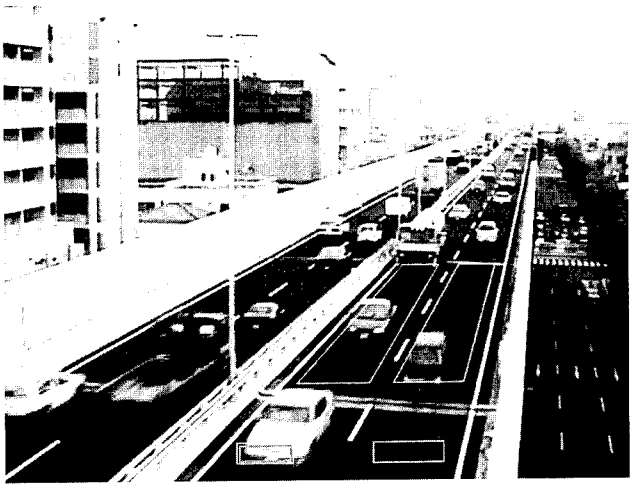


図5　検知，追跡領域　走行車線，追越し車線に設定した車両検知領域と追跡領域を示す．追越し車線の検知領域において車両を検知している．
Region of detection and tracking of moving vehicles

(3) 領域内の車両検知あり・検知なしの時系列データから車両台数を計測する．

図5に台数計測の検知領域において車両を検知した画像を示す．

### 4．2　速度計測処理

車両を検知・追跡し速度を計測するアルゴリズムを以下に示す．

(1) 車両を検知する領域と追跡する領域を設定する（追跡領域は図5中央部の台形枠，検知領域はその最上部に設定）．

(2) 台数計測と同様のアルゴリズムを用いて車両を検知する．

(3) 検知した領域をメモリに記憶する（テンプレート登録）．

(4) 最新画像に対して，車両の運動方向を考慮した探索範囲内においてテンプレートマッチング処理により車両追跡を行う．

(5) 追跡開始位置と終了位置から走行距離を計算し，追跡に要したフレーム数を用いて車両速度を算出する．

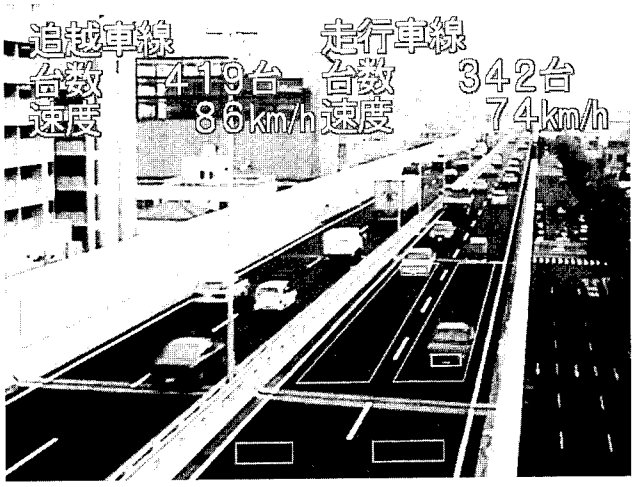
### 4．3　処理結果例

計測中の3時刻 $t$，$t+\Delta t$，$t+2\Delta t$ での画像処理結果をそれぞれ図6に示す．

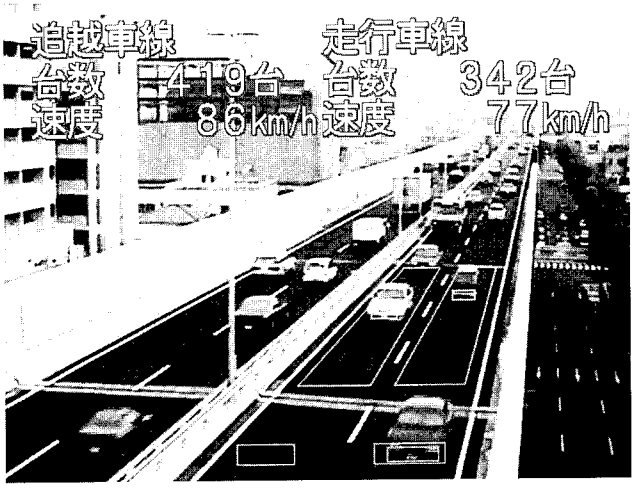
図6(a)は，追越し車線において速度計測の車両検知領域で乗用車を検知したところであり，車両前面部を矩(く)形枠で囲っている．走行車線では別の乗用車を追跡中であり，車両前面部の追跡用テンプレート領域を矩形枠で囲っている．

図6(b)は，図6(a)の追越し車線で検知した車両を追跡中であることと，走行車線での追跡を終了し，その速度結果とを表示している．図6(c)は，走行車線での乗用車の台数計測を終了し，通過台数を1台インクリメントして表示している．

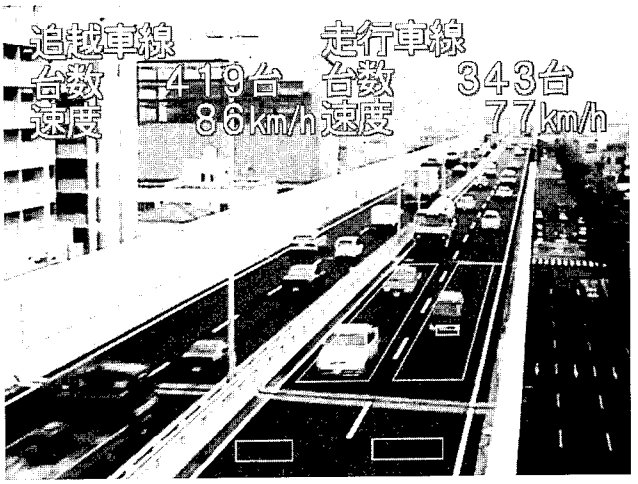
2hの画像を対象とした実験の結果，車両通過台数は誤差5％以内，速度標準偏差10％以内を得た．




(a)時刻 $t$ での処理画面




(b)時刻 $t+\Delta t$ での処理画面




(c)時刻 $t+2\Delta t$ での処理画面

図6　計測結果表示画面　検知，追跡した車両を矩形枠で囲み通過車両台数と車両速度を車線ごとに表示している．
Result of traffic measuring

## 5．ま　と　め

都市高速道路における交通流の最適制御を行うには，交通情報を的確に把握し計測するシステムが必要である．本報では監視カメラの画像から道路上を走行する車両を識別し，走行速度や通行台数，空間占有率を計測する交通流計測システムについて述べた．パイプライン方式と並列処理方式を融合したリアルタイム動画像処理装置により，車両前面の水平エッジを利用する台数計測処理とテンプレートマッチングによる車両追跡処理を実現した．

現在，車両分離アルゴリズムを強化し計測精度の向上を図っている．今後は異常走行車の発見による危険予知，車種の判別，事故等の突発事象の検知等のニーズに取組むとともに，本システムの実用化を進める．

### 参　考　文　献

(1) 飯田ほか，高速画像処理装置の開発と応用，三菱重工技報 Vol.27　No.1 (1990) p.76～80

# ITS 用路車間通信システムの開発状況

Status of Road-Vehicle Communication System for ITS

技術本部　浜名通夫[*1]　森下慶一[*2]
神戸造船所　村越英之[*3]　前田孝士[*3]

高度情報化社会の一環として，道路のインテリジェント化を目指したITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の研究開発が世界各国で盛んに行われている．ITSは，複数のアプリケーションからなる大規模な構想である．アプリケーション間の協調を担う路車間通信はシステムの中核であり，標準化作業がISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）やCEN（European Committee for Standardization：欧州標準化機構）で進められている．この動きの中で，当社はITSアプリケーションの一つであるETC（Electronic Toll Collection：自動料金収受）の分野でマレーシア，シンガポールにシステムを納入し，海外で実績を積んできた．また，所轄省庁が主体となる国内の共同研究や標準化作業にも積極的に参画している．

The research and development of ITS is now being performed all over the world. The objective of ITS is to create an intelligent transportation system, and plural application is to be provided. The road-vehicle communication is the most important technology for combining each application into a whole system. The standardization of ITS is being carried out by ISO and CEN. We supplied our ETC ITS system, to Malaysia and Singapore, achieving exports to overseas markets. Also, we strenuously participated in the R&D and standardization project organized by several Japanese ministries.

## 1. まえがき

パソコンのインターネットや携帯電話の普及で，情報通信に対する関心の高まりには目を見張るものがある．1995年には内閣総理大臣を本部長とする“高度情報通信社会推進本部”が設置れ，一般社会における情報化の波は今後共ますます高まっていくことは確実である．

以前は閉ざされた空間として位置付けられていた道路・交通分野においても，情報化の動きが活発になっている．この道路・交通分野における情報化は，関係する5省庁が主体となり，産官学の連携・協力の下，国家的プロジェクトであるITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）で推進されている．

道路・交通分野における情報化の研究は，1960年代後半から世界各国で開始された．現在では，歴史的な変遷を経て，ITSとして各国の国家プロジェクトとして開発が進められている．日本におけるITS構想は，①安全性・輸送効率・快適性の飛躍的向上，②環境保全への大きな寄与，を開発意義として推進されている[(1)]．

システムの中核となる通信のインフラストラクチャは全国規模であり，ITSの実現は高度情報化社会の先鞭(べん)となるものである．しかも，全国規模のインフラストラクチャが創出する新たな産業や市場規模は，今後の20年間で50兆円以上と見積られており，社会経済に与える影響は絶大である．

## 2. ITS路車間通信システムへの要求項目

ITSは，ノンストップ料金収受システムや衝突予知システムなど20に及ぶ複数のアプリケーションから成る統括システムの総称である．1996年7月に警察庁，通商産業省，運輸省，郵政省，建設省が策定した“高度道路交通システム（ITS）推進に関する全体構想”の中で明記されているとおり，ITSの実現に向けては，情報受発信端末としての道路と車両の高度化，情報内容の拡充，情報通信インフラストラクチャの整備が不可欠である．特に，“開かれた情報空間”を目指すITSでは，情報を収集する“センシング”と情報を伝達する“通信”がシステムの要となる．図1にITSにおける路車間通信の例を，表1にはITSで予定されている利用者サービスと通信概要を示す[(1)]．20のサービスの中で，14のサービスが路車間通信が主体となるアプリケーションであり，他の6サービスは前方車両の検知や車両制御等，センシングや自動制御を主体とするアプリケーションである．

しかし，センシングや自動制御を主体とするアプリケーションでも，センシング情報等を路側に伝達する手段としての通信システムは非常に重要である．したがって，広義の意味ではITSのすべてのアプリケーションで路車間通信が必要となり，正しく，路側と車両とを有機的に結ぶ路車間通信がITSシステムの中核として位置付けられる．

表1に見られるとおり，路車間通信システムには，①リアルタイム性（高速性），②高信頼性，が技術的項目として求められる．また，1台の車載機で複数のアプリケーションに対応可能となることが望まれる．さもないと，ユーザは各アプリケーションごとに複数の車載機が必要となり，ITSの市場性は閉ざされたものとなる．したがって，法制度の面からは，アプリケーション間の整合性・協調性が路車間通信システムに要求される．

ITS用路車間通信に求められる要求は，アプリケーションにより異なる．これに対応するため，表2に示すような通信方式が採用される予定である．

この中で，DSRC（Dedicated Short Range Communication：狭域専用通信）は極小通信スポットでの高速・高信頼の通信システムで，ITS特有の要求である．現在各国で技術検討を進めており，それぞれISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）での標準化を目論んでいる．本報ではDSRCについての標準化・規格化状況と当社の取組み状況を報告する．

## 3. 標準化・規格化の動向と技術項目

各アプリケーションの協調性を実現するには，各アプリケーシ

*1 高砂研究所電子技術研究室主査
*2 高砂研究所電子技術研究室

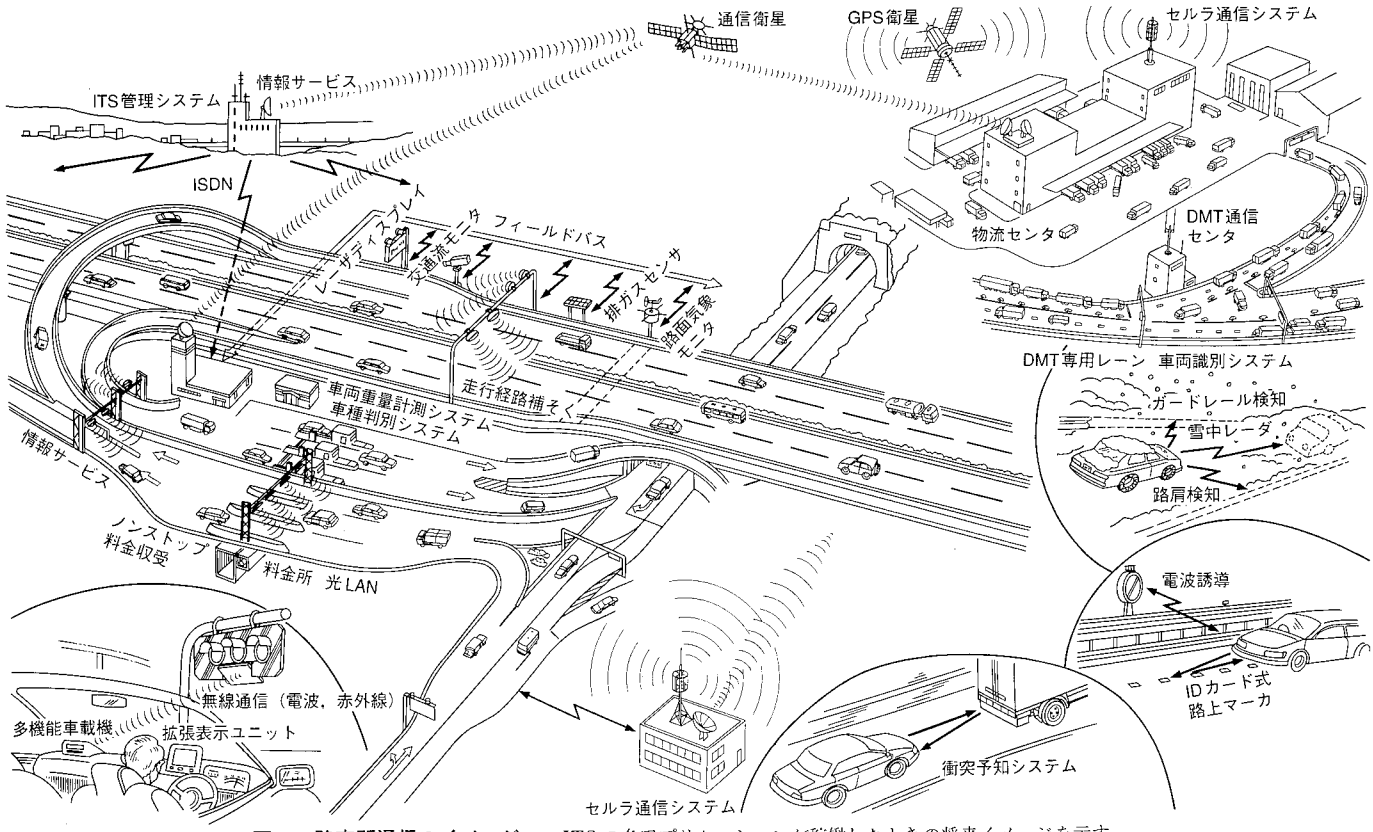



**図1　路車間通信のイメージ**　ITSの各アプリケーションが稼働したときの将来イメージを示す．
Future image for ITS

**表1　ITSで予定されている利用者サービスの枠組み**
Service plan for ITS users

| 利用者サービス | 開発分野 | 通信情報の内容 | 通信への要求項目 |
|---|---|---|---|
| 交通関連情報の提供 | ナビゲーションシステムの高度化 | 渋滞情報，所要時間情報 | リアルタイム性 |
| 目的地情報の提供 | | 目的地の地域情報やサービス情報 | |
| 自動料金収受 | 自動料金収受システム | 車両のID情報や課金情報 | 高速性，信頼性 |
| 走行環境情報の提供 | 安全運転の支援 | — | — |
| 危険警告 | | — | — |
| 運転補助 | | — | — |
| 自動運転 | | — | — |
| 交通流の最適化 | 交通管理の最適化 | 経路誘導情報 | リアルタイム性 |
| 交通事故時の交通規制情報の提供 | | 交通規制情報 | リアルタイム性 |
| 維持管理業務の効率化 | 道路管理の効率化 | 作業車両の位置情報 | |
| 特殊車両等の管理 | | 車両位置情報 | |
| 通行規制情報の提供 | | 通行規制情報 | |
| 公共交通利用情報の提供 | 公共交通の支援 | 運行情報，混雑情報 | |
| 公共交通の運行・運行管理支援 | | 運行情報 | リアルタイム性 |
| 商用車の運行管理支援 | 商用車の効率化 | 運行情報 | リアルタイム性 |
| 商用車の連続自動運転 | | — | — |
| 経路案内 | 歩行者等の支援 | 施設情報，経路情報 | |
| 危険防止 | | — | — |
| 緊急時自動通報 | 緊急車両の運行支援 | 災害・事故情報 | リアルタイム性 |
| 緊急車両経路誘導・救援活動支援 | | 被害状況，誘導情報 | リアルタイム性 |

**表2　路車間通信方式**
Road-vehicle communication mode

| 通信方式 | 特徴・適用先 | 媒体・手段 |
|---|---|---|
| 狭域通信(DSRC) | スポット領域での車両限定通信<br>料金収受，車両識別 | 電波ビーコン<br>光ビーコン |
| 広域通信 | 広域ネットワーク<br>車両運行管理 | セルラシステム，FM多重<br>衛星通信 |
| 連続通信 | 路上での連続通信<br>道路交通情報，自動運転，<br>DMT（Dual Mode Truck） | LCX<br>ミリ波 |

ョンで使用される路車間通信システムの標準化が重要となる．また，世界中のだれでも同じように利用可能とするためには，国際的な標準化を念頭に進める必要がある．

### 3．1　海外動向

欧州連合では，CEN（European Committee for Standardization：欧州標準化機構）でRTTT（Road Traffic and Transport Telematics：道路交通及び輸送に関する情報通信）をテーマとしてITSの統括的な標準化活動を推進中である．作業部会で検討されたドラフトは標準案としてISOに順次提案されており，世界中で最も作業が進んでいる．特に，路車間通信では，ヨーロッパ案がISO規格として承認間近である．**表3**にCEN規格の路車間通信仕様を示す[2]．基本的な概念は，ETC（Electronic Toll Collection：自動料金収受）を想定したDSRCに基づいている．これは，ITSの中でもETCが最も明確なイメージとして確立しているためであるが，伝送速度の多様化等，複数のアプリケーションを考慮した規格案が策定されている．

一方，ISOでは米国を中心とし，TICS（Transport Information and Control Systems：車両交通情報制御システム）をテーマとした標準化活動がTC 204で行われている．**表4**にISOの作

表3　CENの路車間通信主要諸元（物理層）
Main specification for road-vehicle communication by CEN

| 項　目 | 規格値 | 備　考 |
|---|---|---|
| 使用周波数 | 5.795~5.805 GHz | CEPT 勧告 |
| 通信方式 | パッシブ | 半二重 |
| 符号化<br>ダウンリンク<br>アップリンク | <br>FMO<br>NRZI | <br>オプション：NRZI |
| 変調方式<br>ダウンリンク<br>アップリンク | <br>ASK<br>BPSK | <br><br>オプション：4/8-PSK |
| 伝送速度<br>ダウンリンク<br>アップリンク | <br>500 kbps<br>250 kbps | <br>オプション：31.25~1 000 kbps<br>オプション：31.25~750 kbps |
| 送信出力 | 2 W | 含アンテナゲイン |

表4　ISO/TC 204の作業グループ
Working group of ISO/TC 204

| 作業グループ | 標準化名称 | 幹事国 | 対応CEN/TC 278 |
|---|---|---|---|
| WG 1 | アーキテクチャ | 英国 | WG 13 |
| WG 1.3 | 車両自動認識<br>貨物自動認識 | ノルウェー | WG 12 |
| WG 2 | 品質・信頼性 | 米国 | |
| WG 3 | データベース | 日本 | WG 7/WG 8 |
| WG 4 | 車両自動識別 | WG 1に統合 | |
| WG 5 | 料金自動収受 | オランダ | WG 1 |
| WG 6 | 貨物運行管理 | 米国 | WG 2 |
| WG 7 | 車両通行管理 | カナダ | WG 2 |
| WG 8 | 公共交通 | 米国 | (WG 2)/WG 3 |
| WG 9 | 交通管理 | オーストラリア | WG 5 |
| WG 10 | 旅行者情報 | 英国 | WG 4 |
| WG 11 | ナビ・経路誘導 | ドイツ | WG 4 |
| WG 12 | 駐車場管理 | 休会 | |
| WG 13 | マンマシンインタフェース | 米国 | WG 10 |
| WG 14 | 車両制御 | 日本 | |
| WG 15 | 狭域通信 | ドイツ | WG 9 |
| WG 16 | 広域通信 | 米国 | WG 11 |

業グループを示す[2][3]．表中に示したように，ISOの各作業グループに対応した作業グループがCENにもあり，ISOとCENでの重複作業をなくすため，1991年のウィーン協定で作業の主導権と並行投票の取決めがなされている[2]．現在路車間通信における標準化はCENの提案規格を検討している段階であり，1997年度中に予備規格としての投票が行われ，3年間の準備期間をおいて正規格として登録・発行される予定である．

当社は，専門委員としてISOやCENに日本代表として参加しており，海外の標準化動向を分析するとともに，日本の標準化規格を国際規格化すべく重要な役割を果している．

### 3.2　国内動向

日本における標準化は，電気通信に関する主管庁である郵政省の電気通信技術審議会において取組まれている（図2参照）．

一方，ISO/TC 204に対応する国内対策委員会が設置されており，電気通信技術審議会は国内対策委員会と連携を取りながら，国際規格化を目指した標準化活動を行っている．

日本では，1995年度からETCシステムの技術開発と並行して，路車間通信システムの“有料道路における自動料金収受システムの無線設備の技術的条件”を作成し，電気通信技術審議会に答申

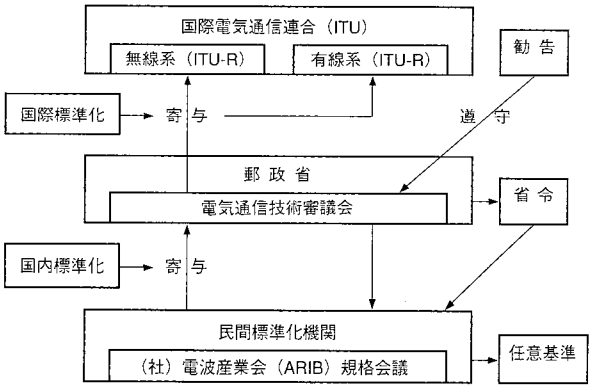



図2　国内の標準化組織体制　日本国内における標準化案を策定する組織体制を示す．
Organization for standardization in Japan

表5　日本の路車間通信主要諸元（物理層）
Main specification for road-vehicle communication in Japan

| 項　目 | 規格値 | 備　考 |
|---|---|---|
| 使用周波数 | 5.795~5.845 GHz | |
| 通信方式 | アクティブ | 全二重／半二重 |
| データエンコード | マンチェスター | |
| 変調方式 | ASK | |
| 伝送速度 | 1 Mbps | |
| 空中線電力 | 300 mW（基地局）<br>10 mW（移動局） | |

し，1997年9月に省令改正が実施される予定である．また，ISOに対しても本答申案に基づいた規格案を1997年4月のパリ会議でプレゼンテーションし，同年秋からISOに上程する正式文書を作成する予定である．表5に日本の規格案の主要項目を示す．CENとは変調方式や通信方式の点で相違があり，今後，国際標準規格の策定に向けて，ISOでの検討が待たれる．

## 4. 当社の状況

当社は，1967年に初の国産料金機械となったパンチカードシステム以来，1980年の磁気カードシステム，1987年の自動化システムと，各種のコンペティションに勝抜いて顧客に納入しており，正しく料金収受システムの歴史と共に歩んできたといえる．料金収受システムは約10年のサイクルで世代革新が進んでおり，自動化システムの開発を行いつつ次代の主流となる料金機械の将来像を描いてきた．

当社が出した結論は，“ノンストップ・キャッシュレス”を実現する無線技術を用いた完全な自動料金収受システムであった．これは，現在のETCシステムと概念を同じくするものである．したがって，当社とITSとのかかわりは古く，現在VICS（Vehicle Information-Communication System：道路交通情報通信システム）として稼働している建設省土木研究所主体の“路車間情報システム”研究会にも1984年の発足当時から参画し，ITSに関する研究開発を進めてきた．ETCに関する研究は1990年から開始され，マレーシアやシンガポールにシステムを納入し，海外で実績を上げてきた．特に，シンガポールのERP（Electronic Road Pricing：自動道路料金課金）システムでは，車線の概念がない世界初のフリーフロー・システムを構築し，世界中に当社の技術力の高さを示した．また，ETCに関する通信方式やICカードを用

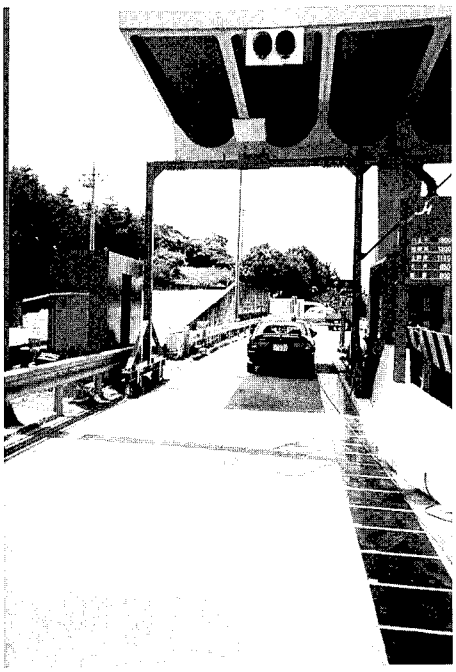


図3　ETCの実験風景　建設省・四公団と民間企業との共同で行ったETC基礎実験の様子を示す.
Experiment of basic research for ETC

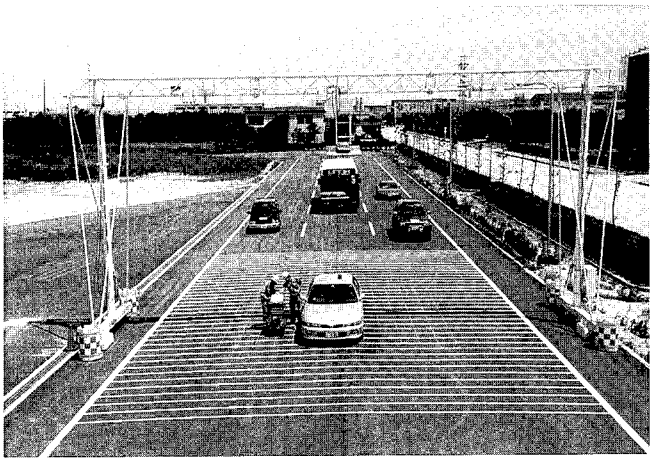


図4　路車間通信の試験状況
Test appearance for road-vehicle communication

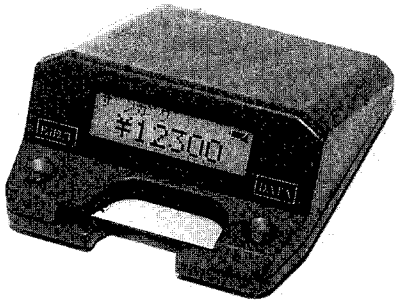



図5　車載機
In-vehicle unit on test

いた車載機など各種の基本特許や100件以上に及ぶ周辺特許を国内外で取得している.

一方，国内では，1994年に建設省及び四公団が公募した“ノンストップ自動料金収受システム”の研究に応募し，10社の共同研究社のうちの1社に選定された．この研究は1996年3月まで実施され，現在の路車間通信システム規格案の基となる各種の基礎実験が行われた（図3参照）．1997年7月には日本標準規格案に基づいて開発した機器の実験局免許を取得し，路車間通信からシステム化までETCに関する様々な検討を行っていく予定である.

当社における路車間通信の試験状況を図4に，試験中の車載機を図5に示す.

国内外の標準化に対しても，専門委員としてISOやCENの国際会議に出席するとともに，国内の規格案策定の場となったDSRC調整会議に参画する等，積極的な活動を展開している.

さらに，図1に示したようなITSイメージ実現に向けて，ETCシステムの開発で培った路車間通信技術を中心に，当社が保有するシステム化技術，画像処理技術，センシング技術，ロボット技術等の様々な技術を融合させ，“AHS（Automated Highway System：自動運転システム）”，“衝突予知システム”，“新物流システム”，“交通管理システム”などETC以外のITS分野へも意欲的に取組んでいる.

## 5. む　す　び

ITSは，高度情報社会実現の先導，経済市場の発展及び環境問題に対する切札として，国家がプロジェクトとして取組むにふさわしい広大なテーマであり，今後ますます開発が促進されるものと期待される．ITSが持つ非常に柔軟な構想を実現し，その機能を十分に発揮するためには，各アプリケーション間の通信整合性が非常に重要であり，ISOによる路車間通信システムの標準化作業が待たれるところである.

当社が持つ料金機械との古い歴史やETCにおける海外の実績が示すとおり，ITSに取組む環境と技術力は整備されており，今後，ITSを通じて社是である“社会の進歩に貢献する”を実現すべく推進していきたい.

### 参　考　文　献

(1) 5省庁（警察庁，通商産業省，運輸省，郵政省，建設省），高度道路交通システム（ITS）推進に関する全体構想　平成8年　p.1，p.14
(2) ITS/DSRC調整会議，ITS用DSRC　平成9年　p.5-1-1
(3) イメージ工学研究所編，ITSのすべて，日本経済新聞社　1995年　p.198

# 新型消波根固コンクリートブロック“ダイヤブロック”の開発

Development of Concrete Armor Unit “Diablock”

長崎造船所　井上俊司[*1]　吉村光弘[*2]
九州大学　松永信博[*3]
日本文理大学　櫨田　操[*4]

災害防止及び環境保全の目的で，我が国の海岸部及び河川部では数多くの種類の消波根固コンクリートブロックが使用されている．また，今後は経済発展の著しいアジアを中心として世界的にブロックの需要は拡大していくものと思われる．この度，当社が従来にない独自のコンセプトで開発した消波根固コンクリートブロック“ダイヤブロック”は，安定性，低反射性，消波性等において高性能が期待されるが，本報では，そのコンセプト上の特徴と安定性及び強度の二つの基本性能を紹介した．今後，当製品が広く活用されていくことを期待している．

The features and basic performance of the newly developed concrete armor unit “Diablock” is described. The $K_D$ value using Hudson's formula is obtained as 8.0-8.5 from hydraulic model study. The strength of the block is also confirmed by using FEM analysis. Diablock has high stability, low reflectivity, and high dissipativity for waves. We expect that Diablock will widely contribute to the prevention of disasters and environmental protection.

## 1. まえがき

我が国の大都市及び工業地帯の多くは沿岸部に立地している．海に囲まれ，大小の多くの島から成る我が国は，従来から台風や冬期季節風による波浪災害や高潮災害，及び地震による津波災害など，自然災害の影響を受けやすくこの防止に努めてきた．

また，近年においては，様々な要因による海岸浸食の進行が，沿岸環境の保全上問題となっている．

このような災害の防止や環境保全の目的で，我が国では数多くの種類の消波根固コンクリートブロック（以下，ブロックと称す）が，防波堤や海岸堤防・護岸の前面，離岸堤や突堤及び河川の護岸，水制等，広範に用いられている．

また，今後は経済発展の著しいアジアを中心として世界的にブロックの需要は拡大していくものと思われる．

従来のブロックは，主として，(1) 突起状の形状による法面粗度の増大，(2) 表面形状の工夫によるかみ合せ（安定性の増大），(3) 中空部分を作ることによる空げき率の増大，等のコンセプトの組合せにより開発されており，一長一短はあるものの一定の性能を有している．

本報では，この度当社が独自のコンセプトで開発したブロック“ダイヤブロック”についてその特徴と基本性能を紹介する．

## 2. ダイヤブロックの特徴

### 2.1 基本コンセプト

従来のブロックにも多く用いられ，安全性の良さが確認されている正四面体を基本形状とし，適切な切欠きと面取りを入れることにより複雑な表面形状を形成させる．切欠き量は多いほど空げき率増大の面では良いが，必要強度を確保することも重要であり，強度解析により適切な切欠き量を決定した．

### 2.2 形状及び特徴

ダイヤブロックの形状及び二層積みの設置状況を図1に示す．併せて比較のため，既存ブロック[(1)]の形状も示す．ダイヤブロックの形状開発上の考え方のポイントは下記のとおりである．このうち，安定性についての水理模型実験は次章で述べる．

(1) 安定性

従来の消波ブロックに多く用いられる正四面体をベースにした形状とする．

(2) 低反射性

ブロックを積上げた際の表面に凹凸が現れるようにし，入射波を乱反射させることにより反射率を低減する．

(3) 消波性

はく離渦の発生により，波浪エネルギーを消散しやすくするために，表面は曲面とせず，平面の組合せとする．また，ブロックを積上げた際に，内部にある程度の空間が生じるようにし，波浪エネルギーを内部で減衰させる．

## 3. 水理模型実験

ブロックの最も重要な基本性能である波に対する安定性を調べるため，日本文理大学土木工学科・海洋工学実験場にて，水理模型実験を実施した．

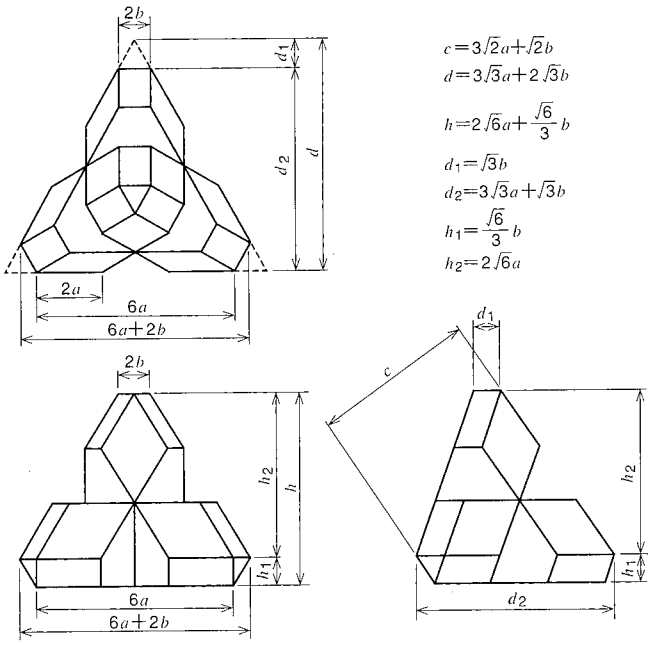
### 3.1 実験施設

実験には，ピストン型不規則波造波装置が設置された，長さ40 m，幅15 m，深さ1 mの三次元平面水槽を用いた．その平面図及び断面図を図2にそれぞれ示す．本図に示すように，造波板から20 mの地点から1/30の海底こう配を有する斜面（鉄製）を長さ3 mにわたって設けている．その背後には，長さ5.4 mで4列から成る実験用水路を設けた．これらの水路にそれぞれダイヤブロック模型3種類（タイプA，B，C）と図1に示した既存ブロック1種類（タイプD）の計4種類を設置した．なお，水槽の岸側端には反射波を防ぐためにビーチ型消波装置が設けられている．

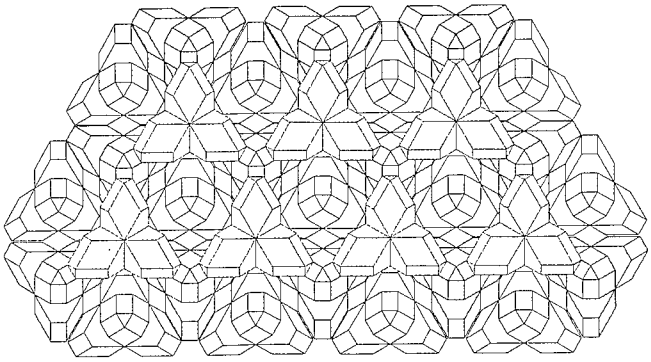
### 3.2 実験模型

実験に用いた消波ブロック模型の重量及び形状諸元を表1に示

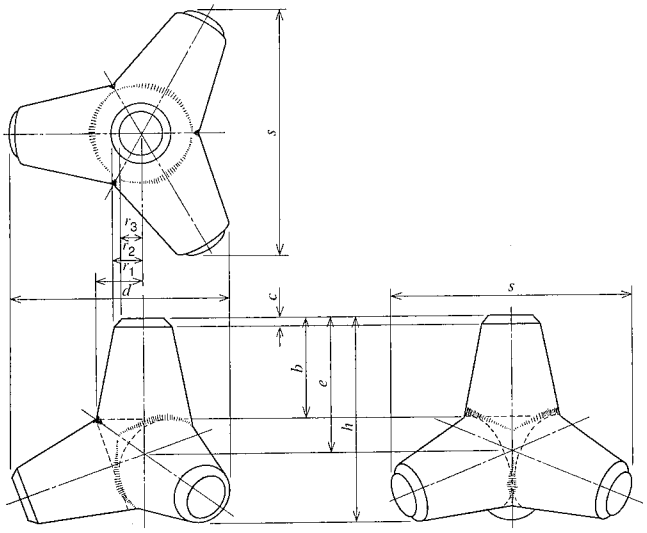
*1 造船設計部船舶計画課
*2 造船設計部新製品計画課
*3 大学院総合理工学研究科助教授 工博
*4 工学部土木工学科教授




(a) ダイヤブロックの形状



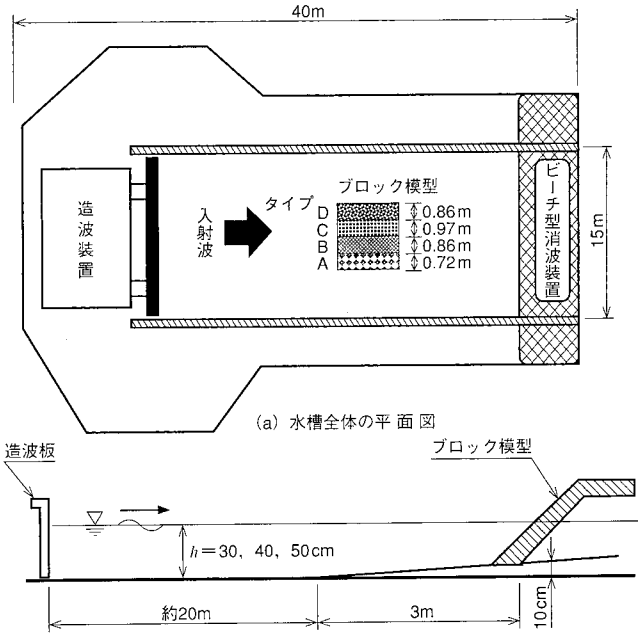
(b) ダイヤブロックの二層積み




(c) 既存ブロックの形状

**図1　ブロック形状及び設置状況**　(a)は正四面体をベースに適切な切欠きと面取りを施している．(b)は安定性が高く，美しい景観の積方となっている．(c)は4本の円すい台状の突起が出た形状となっている．
Configuration and placing of concrete armor units

す．ダイヤブロック模型は，重量 $W=118.33$ gf（タイプA），222.00 gf（タイプB），307.67 gf（タイプC）の3種類，既存ブロックの模型は $W=104.67$ gf（タイプD）の1種類を用いた．ブロックの安定性の検討のためには，少なくとも横に10個並び以上が適当と考えられるが，重量により寸法も異なることから，タイプ




(a) 水槽全体の平面図

(b) ブロック模型の設置状況（断面図）

**図2　三次元平面造波水槽とブロック模型の設置状況**　水深を変化させて，4種類のブロックを同時に実験した．
Layout of apparatus

**表1　消波ブロック模型の諸元**
Dimensions of concrete armor units model

| 種類 | タイプ | 重量 (gf) | 寸法 (mm) | | | 水路幅 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $a$ | $b$ | $h$ | |
| ダイヤブロック | A | 118.33 | 10.0 | 5.0 | 53.1 | 720 |
| | B | 222.00 | 12.0 | 6.0 | 63.7 | 860 |
| | C | 307.67 | 13.5 | 6.8 | 71.6 | 970 |
| 既存ブロック | D | 104.67 | 8.8 | 8.5 | 58.0 | 860 |

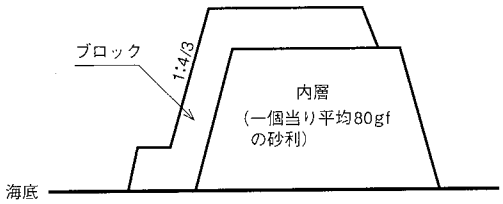



**図3　傾斜堤模型の断面図**
Section of breakwater model

A，B，C及びDの実験水路幅は，それぞれ，720 mm，860 mm，970 mm，及び860 mmと異なっている．

ブロック模型の実験堤体断面は，図3に示すように傾斜堤体とし，法こう配は，1：4/3とした．ブロックの積方は乱積み（2層相当）及び二層積みの2種類とした．また，内層には，1個当りの平均重量80 gfの砂利を用いた．

### 3．3　実験方法

実験条件を表2に示す．不規則波のスペクトルは，Bretschneider一光易型とした．入射波数の概念を図4に示すが，最初の立ち上がり部はブロックのかみ合せを良くするためのものであり，最後の降下部は急激な造波機の停止により，波列の最後部に高波が発生するのを防止するためのものである．

ブロックの安定性は，次式のブロック被害率 $D$ %で評価する．

$$D = n/N \times 100 \tag{1}$$

$n$：検査域内での被害個数

$N$：検査域内での総個数

表2　実験条件
Conditions of experiment

| | | |
|---|---|---|
| ブロックの種類 | ダイヤブロック（タイプA, $W=118.33$ gf / B, $W=222.00$ gf / C, $W=307.67$ gf）　既存ブロック（タイプD $W=104.67$ gf） | |
| ブロックの積方 | 乱積み，二層積み | |
| 水深 $h$(cm) | 30,40,50 | |
| 波形 | 不規則波 | 規則波 |
| 周期 $T$(s) | 1.18～1.61 | 1.50 |
| 波高 $H$(cm) | 5.64～15.36 | 5.35～20.61 |

（注）不規則波の $T$，$H$ は有義波の周期と波高を示す．

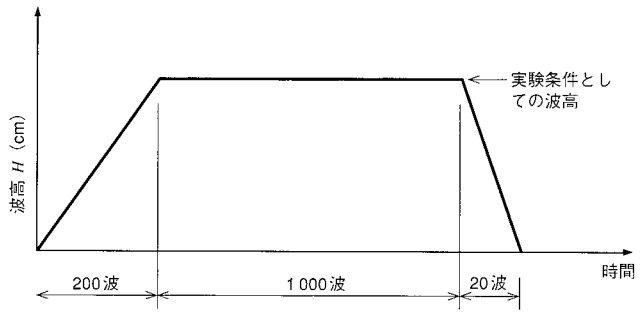



図4　入射波の作用波数　実験波の入射波数は1000波とした．
Incident wave diagram

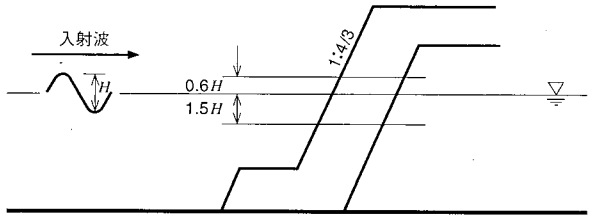



図5　被害ブロックの検査域　静水面から上方に波高の0.6倍の高さから，下方に波高の1.5倍の水深までを検査域とした．
Observation zone of damage

ここで，検査域は図5に示すように静水面から上方に波高の0.6倍の高さから，下方に波高の1.5倍の水深までとし，被害ブロックは，波によりブロックが元の位置からブロック1個分以上移動したものとした．

### 3．4　実験結果及び考察

Hudson[2]によると，ブロック重量と入射波高の関係で，ブロックの安定性に対する厳しさを示すパラメータ $K_D$ は次式である．

$$K_D = \frac{\gamma_r H^3}{W(S_r-1)^3 \cot\alpha} \tag{2}$$

ここで，

$W$：ブロック重量

$\gamma_r$：ブロックの空中単位体積重量（$=2.30$ gf/cm$^3$）

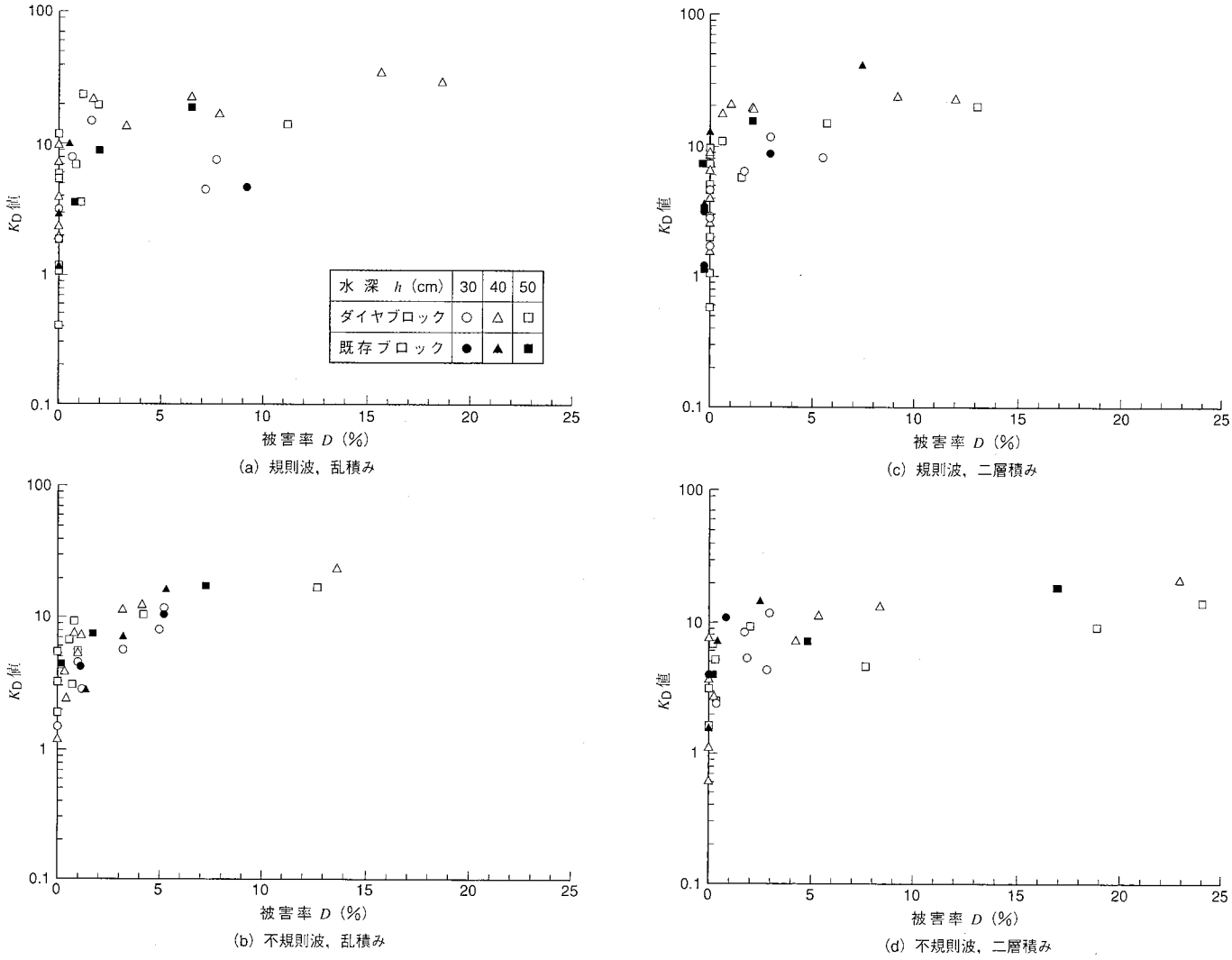



図6　被害率と $K_D$ 値の関係　ダイヤブロックと既存ブロックは安定性においてほぼ同等である．
Relation between damage ratio and $K_D$ value

$S_r$：水に対するブロックの比重

$\alpha$：法こう配（本実験では $\cot\alpha=4/3$）

$H$：有義波高（不規則波）又は波高（規則波）

すなわち，安定限界となる $K_D$ 値が大きいブロックほど安定性に優れていることを意味する．

当実験結果における $K_D$ 値と被害率の関係を，不規則波と規則波，二層積みと乱積みに区別して，図6に示す．本図によると，不規則波より規則波，また乱積みより二層積みの方が安定性が良くなっており，従来の知見と合致する．既存ブロックは，この形状の場合，設計上の安定限界の $K_D$ 値が乱積みの場合の砕波時に8.3，非砕波時に10.2とされている[3]．設計上の安定限界値は，通常，規則波の場合の被害率0～1％，不規則波の場合の被害率3～5％と見なされる場合が多い．今回の実験では，データ数が限られており，ばらつきも大きいことから，砕波・非砕波の区別は行っていないが，既存ブロックの安定性については従来の知見とほぼ合致する実験結果を得ていると考えられる．

図6で見られるようにダイヤブロックは既存ブロックとそれぞれの条件においてほぼ同等の安定性を持っている．そこで，ダイヤブロックの設計上の安定限界の $K_D$ 値を，8.0～8.5とする．

これは，前述の既存ブロックの乱積み・砕波時の値（8.3）を参考にしたもので，非砕波時あるいは二層積みの場合にはダイヤブロックも定性的には安定性を増すと考えられるが，その程度が既存ブロックに比べてどの程度かについてを判定するほど十分なデータ数とはいえないと考え，当面は安全側の設定として全条件で同じ値の8.0～8.5とする．

なお，既存ブロックにおいても推奨されているとおり，実際の設計においては，それぞれの現地条件に合せた水理模型実験によって安定性を確認することが望ましく，前述の設計上の $K_D$ 値はその際の目安値ともいえる．

## 4．強　度　解　析

ブロックの転倒・転落時の強度を，ソリッド要素を用いた有限要素法解析にて検討した．コードはMSC-NASTRANを使用した．

### 4．1　解析モデル及び荷重条件

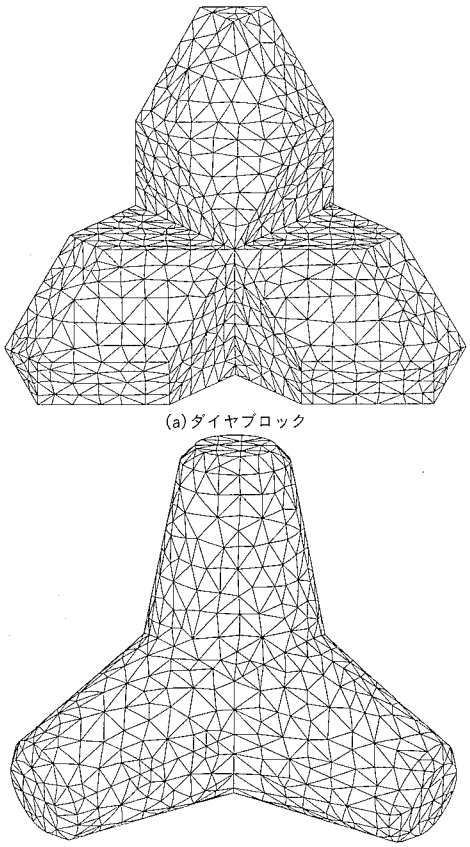
ダイヤブロック及び既存ブロックの要素分割図を図7に示す．要素数は，ダイヤブロックの場合12 267個，既存ブロックの場合11 391個となっている．

転倒・転落時の荷重として自重を想定した．両ブロックの比較を目的としたので，動的慣性力は特に考慮していない．ダイヤブロック，既存ブロック共に4つの頂部を持つが，そのうち1つの頂部，2つの頂部及び3つの頂部で，自立して自重を支える合計3ケースの自重荷重について解析を行った（それぞれの荷重モードを，1本足，2本足，3本足と称す）．自重は，両ブロック共に，10 m³（23 tf）相当のものとした．

### 4．2　解析結果及び考察

それぞれのブロック表面の最大引張応力を表3に示す．ダイヤブロックの場合には3本足モードが，既存ブロックの場合には2本足モードが最も厳しくなっているが，全体的に応力レベルは両者ほぼ同水準である．ブロック中心部の首断面の形状は，ダイヤブロックの場合は三角形，既存ブロックの場合は円形となっているが，全体の形状バランス上，強度はほぼ同等となっていると考えられる．

したがって，ダイヤブロックにおいて設定している切欠き量は，強度面から特に問題はない水準である．この切欠き量によるダイヤブロック（積上げ時）の空げき率は，既存ブロックの値とほぼ同等（約50％）となっている．



(a)ダイヤブロック

(b)既存ブロック

図7　FEM（有限要素法）解析のモデル図　約1万個のソリッド要素が用いられている．
Model for FEM analysis

表3　表面最大引張応力
Maximum surface tensile stress

単位：N/mm²

| 荷重モード | ダイヤブロック | 既存ブロック |
|---|---|---|
| 1本足 | 0.2 | 0.2 |
| 2本足 | 0.2 | 0.5 |
| 3本足 | 0.4 | 0.2 |

## 5．む　す　び

本報では，当社が独自のコンセプトで開発した消波根固コンクリートブロック“ダイヤブロック”について，その特徴と基本性能を紹介した．

今後，当製品が防災及び環境保全の目的で広く活用されていくことを期待している．

当研究の実施に当っては，埼玉大学工学部建設工学科谷本勝利教授から御指導を賜った．ここに御礼申し上げたい．

### 参　考　文　献

(1) Danel, P., TETRAPODS, Proceedings of the Third Conference on Coastal Engineering (1954) p.390

(2) Hudson, R. Y., Laboratry investigation of rubble-mound breakwaters, Proceedings of the American Society of Civil Enginners Paper No.2 171 (1959)

(3) 日本港湾協会，港湾構造物設計基準（1967）

# 狭開先自動MAG溶接の無監視化技術と実用化

Development of Intelligent Control of GMAW Process

技術本部　藤田　憲[*1]　名倉保身[*1]
横浜製作所　泉並健一[*2]　森井宏和[*3]

最近の生産現場では熟練溶接士が不足してきており，溶接技術及び生産性の低下が危ぐされている．この対策の一つとして，経験の浅い溶接士が操作できる自動溶接の開発が考えられ，筆者らは，熟練溶接士による溶接状況の監視と溶接トーチ位置などの調整操作を省くことのできる無監視化溶接システムの開発を進めており，これまでTIG溶接の無監視システムを開発し，報告している(1)(2)．本報では，溶接現象が更にアクティブなMAG溶接の無監視システムを開発し，実用化したので報告する．これは，CCDカメラによる溶接状況の監視と溶接条件適応制御，レーザセンサによるビード形状と溶接音による溶接時の異常の監視・制御機能を備えた無監視MAG溶接システムで，これを基にボイラドラムの溶接に実用化した例について述べる．

The recent shortage of skilled welders has become a serious problem. To solve this problem, it is necessary to raise the level of automated welding. For the purpose of taking over the roles of skilled welders, the authors have been investigating an intelligent TIG welding control system. We have now developed and put to practical use an intelligent MAG welding control system, in which the welding phenomena are more active. In this system the state of welding is detected and controlled using a CCD camera, a laser sensor and a microphone. The system has been successfully applied to the welding of boiler drums.

## 1. まえがき

最近の生産現場においては熟練溶接士が不足してきており，特に熟練を必要とするアーク溶接の分野において溶接技術及び生産性の低下が危ぐされている．この対策の一つに脱技能化，環境改善さらには省力・省人化を目的とした高度化が考えられる．

圧力容器などの重要な自動溶接においては，熟練溶接士による溶接状況の監視及び電極位置などの調整操作が行われており，筆者らは，このような熟練溶接士による操作を省略でき，経験の浅い溶接士が操作できる無監視溶接システムの開発を進めている．

これまでに，TIG溶接の無監視システムを試作し，原子力プラントの大型厚肉機器の狭開先横向き溶接や圧力容器の配管に実用化している．本報では，溶接現象としてはTIG溶接よりも更にアクティブでスパッタやヒュームの多い環境のMAG溶接を対象に，溶接条件の適応制御を含んだ無監視溶接システムを開発し，ボイラドラムの狭開先溶接に実用化したので以下に報告する．

## 2. 狭開先MAG溶接の施工法と無監視溶接の課題

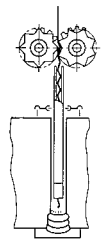
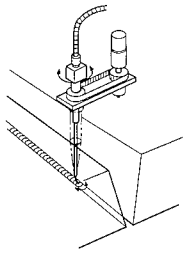
狭開先MAG溶接は，開先側壁への溶け込み不足を防止するために，溶接アークを開先壁方向に指向させることが必要である．そのために，狭開先MAG溶接では，各種施工法が考えられ，実用化されてきている．

当社では，各々の製品に適した施工法として，屈曲ワイヤ方式，円弧ウィービング方式が主に採用されている．

そのため，これらに無監視溶接システムを適用するには，これらの施工法に合せたセンシング法と制御方式を採用する必要がある．これら，各施工法の説明とそれらのセンシングと自動制御システムの課題について表1に示した．

表1　各種施工法ごとのセンシングと自動制御システム化の課題と手法

Problems and techniques for adoption of sensing and automatic control systems in various working methods

| 項目＼溶接法 | 屈曲式<br>下向き溶接 | 円弧オシレート式<br>全姿勢溶接 |
|---|---|---|
| 機構 |  |  |
| 原理 | 成形歯車によりワイヤを屈曲させてアークをオシレートさせる | 折曲げたチップを回転することによりワイヤを円弧状に振り，アークをオシレートさせる |
| センシングの課題 | 高輝度画像のセンシング性<br>（開先内1プール） | 溶融池とアーク光との大幅な輝度差がある中でのセンシング性<br>（開先内でプールが移動） |
| 画像処理の課題と手法 | 屈曲式のワイヤを高速センシングする必要有り | 左右ウィービングする2枚の溶融池画像からワイヤ挿入位置ずれや溶融池幅を確認 |
| 開先倣いの手法 | 左右は画像倣い<br>上下はアークセンサ | 左右は画像倣い<br>上下はアークセンサ |
| 開先幅変動に対する適応制御手法 | 電流（＋溶接速度制御）による適応制御 | オシレート幅＋電流（＋溶接速度制御）での適応制御 |

## 3. 無監視MAG溶接システムの開発

### 3.1 開発課題

本システムは，熟練溶接士が溶接中に行っている行為のうち，(1)目・耳による溶接状況の監視，(2)脳による溶接状況判断，(3)手による溶接条件の調整操作，を自動化して無監視する目的で開発を進めたものである．

すなわち，図1に示すように熟練溶接士に代って目・耳を視覚・聴覚センサに置換えて，脳による判断をコンピュータによって処理し，手の部分を機械系に置換えて自動化を行う“溶接無監視システム”を開発することを目的としたものである．

*1 高砂研究所製造技術開発センター主務
*2 機械工作部主査

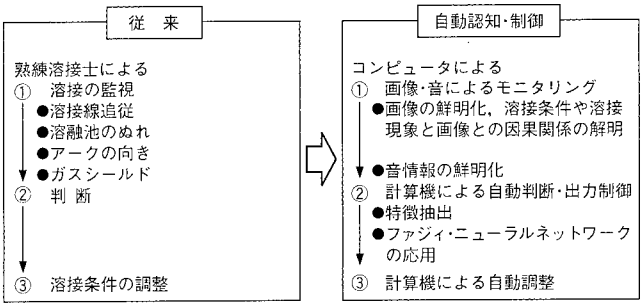



**図1 溶接の無監視化の構想** 溶接の無監視化に対して計算機による自動化概念を示す.
Concept of automatic control welding with intelligent control system

以下，主に下向き溶接に利用される屈曲式と全姿勢溶接に利用される円弧オシレート式について開発した結果を報告する.

### 3.2 屈曲式溶接法（下向き溶接）

屈曲式のMAG溶接は，下向き姿勢で高電流で溶接するため高輝度となり，CCDカメラで直視した場合アーク光でハレーションやスミア現象などを起し，画像処理ができないため，画像処理を可能とする撮像条件を求めた.

アーク光は，**図2**に示すように200～1 800 nm波長域で高強度な光量を有しているが，赤外域になるに従い光量が落ち，溶融池は，逆に赤外域に光量のピークがあることが知られている[3]．このことから，従来は，赤外線カメラが溶接の画像処理に良く使用されていたが，赤外線カメラによる画像では，人が溶接現象を判断することは困難であった．完全無人化に至るまでは，計算機で溶接の異常を検知し，その情報を基に最終的に人がその善しあしを判断する必要がある．そこで，筆者らは，可視域のCCDカメラで画像処理ができ，人の監視も可能な視覚センサの選定を行った.

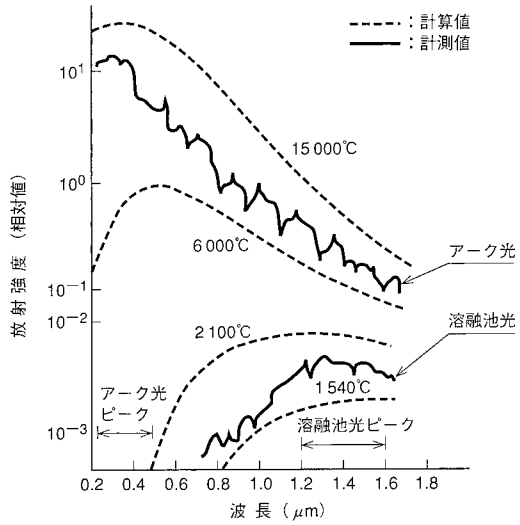



**図2 MAGアーク光のスペクトル分析結果** MAG溶接時のアーク光のスペクトル分析結果を示す.
Spectral analysis results of MAG arc light

その結果，680～750 nmの間にピーク波長を持つ干渉フィルタを用い，撮像条件（絞り，シャッタ速度）との組合せの調整を行うことでアーク光を減光し，人の監視と画像処理が可能な溶融池形状が得られた.

また，屈曲式溶接法を画像処理するには，高速に認識する技術を必要とする．表1の機構図に示すように，成形歯車を用いて10 Hz程度の速度で左右にワイヤを折曲げるため，高速にワイヤが左右に振れ，かつ成型部とアーク点が離れていること，及びアーク長が変化することにより，現在ワイヤが開先壁に対しどちらを向いて溶接しているかは，成型歯車などの機械的な位置から判断することはできない．そのため，アークセンシングは不可能であり，画像処理も取得画像とワイヤ位置の関係が不明では処理できないことになる.

またカメラは，60 Hzごとに1枚の画像を処理するに過ぎず，さらにこの画像処理の時間を考慮するとこれ以上の時間が掛かり，屈曲したワイヤのすべての画像を取込んで処理することはできない．画像処理装置も費用対効果を考慮すると高価なものは使えない.

そこで，連続画像取得のため，カラーで2枚分のメモリを有する画像処理ボードを利用した．このボードをカラーではなく白黒画面として連続して6枚（カラー画面ではRGB×2枚のメモリとなるが白黒画面では3原色を必要としないため6画面がメモリできる）撮込んでおき，後からこの画像を順次取出して画像処理する方式を採った．つまり，10 Hz程度でワイヤを折曲げているため，1/60 sで6枚の画像を連続に撮像することで屈曲したワイヤ1曲り分を取込んだことになり，この1曲り分で6場面のワイヤ挿入状況を処理できることになる．そして，この6画面（ワイヤ1曲り分）を平均化処理することでワイヤ挿入位置ずれを検出し，制御することとした.

**図3**に屈曲式MAG溶接の溶接状況の認識画像を示す.

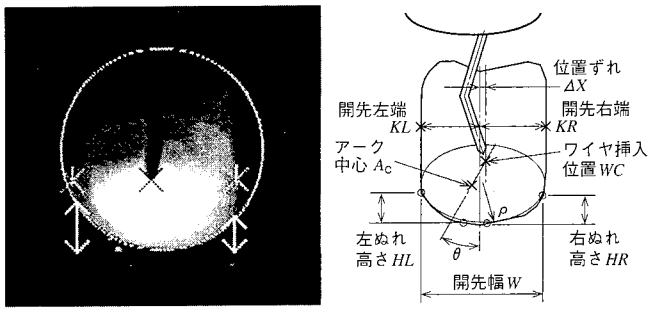



**図3 屈曲式MAG溶接状況認識** 屈曲式MAG溶接を認識した処理画像と説明図を示す.
Explanation diagram of corrugated type MAG welding image

この図に示すように，視覚センサにより溶接部を直視した溶接画像から，開先左右端$KL$，$KR$，ワイヤ挿入位置$WC$，アーク中心$A_c$，左右ぬれ高さ$HL$，$HR$，溶融池先端中央部の曲率$\rho$などを画像処理して求め，次いで，開先左右端の中央$(KL+KR)/2$とワイヤ挿入位置$WC$との差から，ワイヤ挿入位置ずれ量$\Delta X$，開先幅$W$，さらにワイヤ挿入位置$WC$とアーク中心位置$A_c$から，アークの傾き$\theta$を求めた.

以上の演算により溶接線倣いを，① 位置ずれ量$\Delta X$，② 前の制御量とその方向$\Delta V$，③ 左右ぬれ高さのずれ量$\Delta H=HL-HR$により，**表2**に示すファジィルール（代数積－加算－重心法[4]）で自動制御した．ここで，左右のぬれ高さのずれ量$\Delta H$を加味することにより，多少アークブローなどが起っても，ビードが偏肉を起さずに溶接可能となった.

また，開先幅の変動に対しては，画像処理で求めた開先幅$W$により，電流と溶接速度を制御することで対応することとした．しかし，これは実験により電流のみで開先幅10～14 mmまでに対応

表2　開先倣いファジィルール例
Example of welding groove profiling fuzzy rule

| 前の制御 ＼ 位置ずれ | | ΔV NL | ΔV ZR | ΔV PL |
|---|---|---|---|---|
| ΔX | NL | PL | PM | ZR |
| | ZR | PM | ZR | NM |
| | PL | ZR | NM | NL |

| ぬれ高さずれ ＼ 位置ずれ | | ΔH NL | ΔH ZR | ΔH PL |
|---|---|---|---|---|
| ΔX | NL | PL | — | — |
| | ZR | PM | ZR | NM |
| | PL | — | — | NL |

(注) NL：Negative Large（マイナスに大）
ZR：Zero（ゼロ）
PL：Positive Large（プラスに大）
PM：Positive Medium（プラスに中くらい）
NM：Negative Medium（マイナスに中くらい）

でき，溶接速度での制御までを必要としないことを確認したため，電流のみで開先幅変動に適応制御することとした．

その他，異常検知としては，図3の溶接状況図において，$\theta$ からアーク偏向度合い，溶融池先端の曲率 $\rho$ から溶融状態などを検知し，後方のスリット光センサにより，ビード形状を得て（図4参照），ビード左右と中央のビードの曲率やビード傾斜角度 $\theta_c$，及び聴覚センサによりシールド状況を監視した．

その結果，開先線倣いに関しては，±0.5 mm 以内の精度で制御できることを確認した．開先幅変動に対しても適応制御し，ビードの盛上りを一定に保てることを確認した．また，例えば溶接線を故意にずらして外乱を強制的に与えると，それを本システムが自動的に判断できることも確認した．

### 3．3　オシレート式溶接法（全姿勢溶接）

オービタルの全姿勢溶接では，下向き溶接に比べ溶接条件の裕度が狭いため（ビードの垂れ落ちを防ぐため）開先を多少広くしてウィービングしながら溶融池を左右で冷やしながら溶接することになり，開先幅が広くなる．また，溶接電流も低いためアーク光の強度に比べると溶融池光の強度は低くなる．さらに電流も姿勢やウィービング位置により異なり，画像が一定せず画像処理が困難を極めることになる．

そこで，ランダムシャッタ式CCDカメラと赤外域を透過するシャープカットフィルタの採用で，図5に示すように開先の左右端で短絡画像を瞬時に捕え，溶融池を抽出し，開先のセンタ部分ではアーク画像を取得した．これによりMAGの強烈なアーク光に対し，光量の低い溶融池をセンシング可能とした．

また，適応制御システム化のため，各溶接条件（溶接電流・電圧，溶接速度，ウィービング幅，両端停止時間，ウィービング速度など）に対し，得られる画像を解析し，その制御パラメータを洗い出した．

その結果，ビード形状や垂れ落ちについては，電流と溶融池の垂れ高さ $H2L$，$H2R$ との関係，アンダカットやビードの垂れ落ちなどビードのぬれ性については，ウィービング幅と溶融池の垂れ高さ $H2L$，$H2R$ との関係に有意差があることが判明した．

また，溶接線に対する倣い制御は，開先壁に対するワイヤ挿入位置ずれ $WR-WL$ と溶融池ぬれ高さ $H1L$，$H1R$ によりファジ

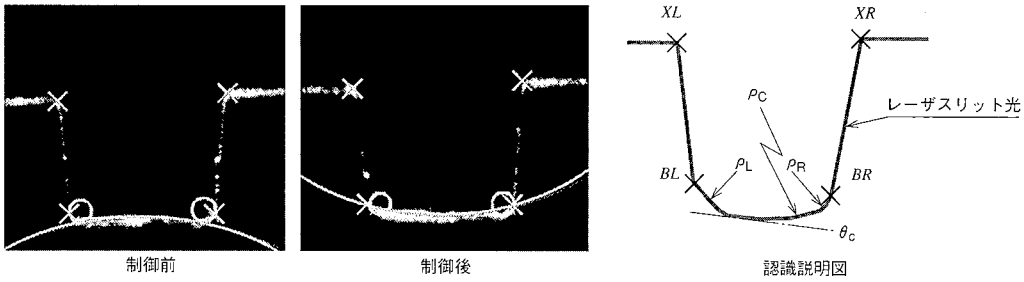



図4　レーザスリット光によるビード形状認識　左図の二つはレーザスリット光でのオービタル画像処理例（左は電流適応制御前，右は電流適応制御後），右図は認識対象を説明した図を示す．
Recognition diagram of bead shape with laser slit light

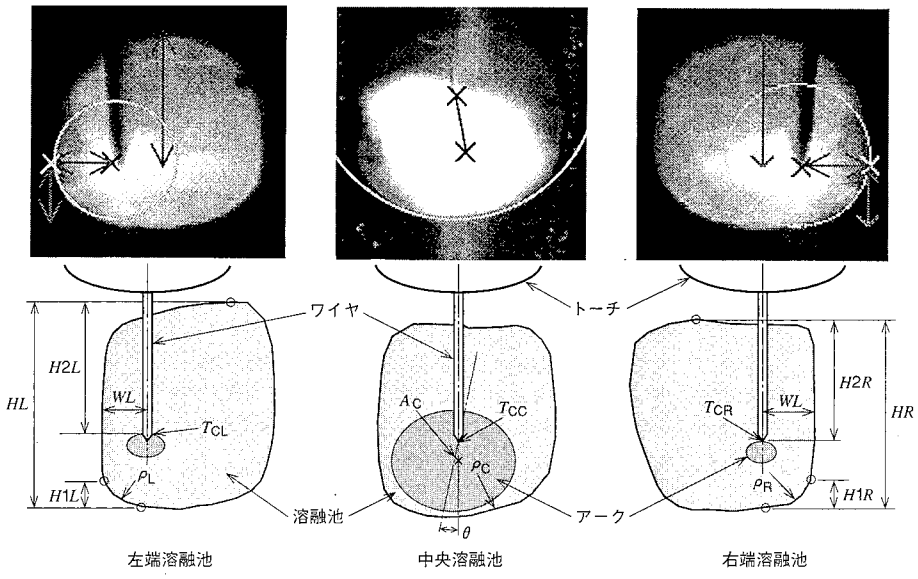



図5　MAGオービタル溶接の画像認識例　オシレート式のオービタル溶接の左端，中央，右端での処理画像の例とその説明を示す．
Example of processed image for MAG orbital welding

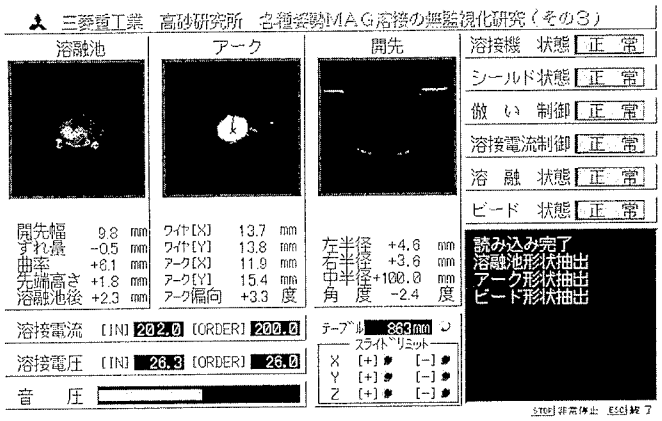



**図6 ボイラドラムのMAG溶接制御画面** ボイラドラムの自動溶接装置の制御画面を示す.
Controlling image of boiler drum MAG welding

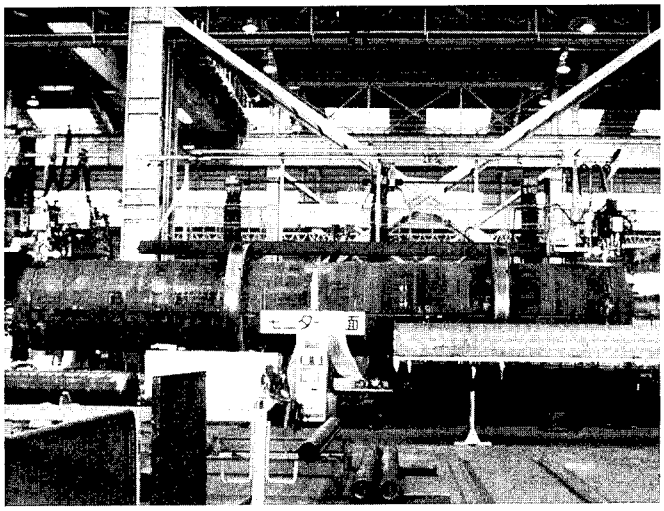


**図7 装置外観** ボイラドラムの装置外観を示す.
Setup appearance photograph

ィ推論で開先倣いを行い，低速なウィービングでも開先倣いが行えるシステムを開発した.

溶接条件適応制御は，姿勢ごとに事前に求めた溶融池全体高さ $HL$, $HR$ と溶融池垂れ高さ $H2L$, $H2R$ によりファジィ推論を行い電流を自動制御した.

その結果，開先線倣いは，精度±0.5 mm 以内で溶接線を倣うことができた．溶融池制御に関しては，設定（要求）電流に対し約±5 A の精度でファジィ推論による適応溶接制御を可能とし，図4に示すように不良ビードから適正ビードに自動修正できることを確認した．ウィービング幅制御についても同様に±0.5 mm 以内の精度で制御し，各姿勢でのビード垂れ落ちを防止できることを確認した.

そのほか，溶接状況の異常についても視覚・聴覚センサによって監視した．具体的には，溶融池やビードの形状から，開先壁の溶融形状，ビードの垂れ，傾き，アークの偏向等を監視した．聴覚では，シールド状況を監視した.

## 4. ボイラドラムへの実用化

次に，屈曲式の MAG 溶接のボイラドラムの周継手に実用化した例を示す.

図6にボイラドラムに適用した制御画面，図7に装置外観を示す．本装置は，左右に2台設置してあり，同時に施工している.

本システムは，前述したシステム化に加え，全体の画像の明るさから電流の異常，溶融池の大きさから溶接異常の検知を行うことが可能で，そのほか，画像の誤認識での制御を避けるための判断処理がされ，異常画像を捨てる機能，異常データを取込んでも制御しない処理が付加されており，信頼性の高い溶接が可能となっている.

現在，本システムは，ボイラドラムの周溶接装置に適用し，工数低減，品質の安定化に寄与している．今後は，長手溶接にも適用する予定となっている.

## 5. ま と め

熟練溶接士による生産性，溶接技術の低下が危ぐされている．そこで，これまでに TIG 溶接の無監視システムを開発してきた．今回は，これを MAG 溶接にまで適用範囲を拡大するため，狭開先溶接に対して，各種溶接法に対応した溶接状況の無監視化に対する課題，手法を検討し，基本システムを開発し，無監視運転に必要な基本技術を開発した.

また，本システムは，ボイラドラムの周溶接に実用化されており，今後適用範囲の拡大が期待されている.

### 参 考 文 献

(1) 松本ほか，TIG 溶接における無監視化技術の開発，三菱重工技報 Vol.31 No.3 (1994-5) p.217～220
(2) 名倉ほか，無監視 TIG 溶接の大型構造物への適用，三菱重工技報 Vol.32 No.6 (1995-11) p.383～386
(3) 井上ほか，アーク光のスペクトル特性を考慮した画像の改善，溶接学会誌 50-11 (1981) P 90-100
(4) 水本，ファジィ制御の改善法 (V)，大阪電気通信大学

# 電子ビーム真空蒸発装置における溶融金属液レベルモニタの開発

## Development of Molten Metal Level Monitoring system for Electron Beam Heat Vapor Deposition Equipment

技術本部　若元郁夫[*1]　国光　智[*2]
手島和範[*3]
神戸造船所　金川昭宏[*4]　福田信幸[*4]

各種材料に高融点金属を蒸着するための真空蒸着装置では，真空中でるつぼ内の処理対象金属を電子ビーム加熱により溶解・蒸発させる．蒸発特性の安定化や長時間運転のためには，るつぼ内溶融金属の液レベルを検出して原料を補給し，これを一定に保つ必要がある．このような目的に沿って，X線ピンホールカメラを検出器とするるつぼ液レベルモニタを開発した．原理は2台のX線ピンホールカメラを利用して，電子ビーム照射位置から発生するX線を2方向から検出して三角測量を行うものである．本モニタにより約±1 mmの精度で液レベルのリアルタイム測定が可能となり，先に開発した電子ビームプロファイルモニタ装置と合せて，真空蒸着装置の運転制御性が飛躍的に向上した．

In the vacuum evaporating equipment which is used to deposit a high melting point metal on various materials, the metal in the crucible is heated by an electron beam gun. In order to evaporate the metal stably, the surface of the molten metal needs to be controlled to a constant level by feeding the raw material to the crucible. It is necessary for this purpose to detect the level position precisely by any method. We have developed a level monitoring system composed of two X-ray pin hole cameras based on triangular measurement. The camera detects the X-rays generated by the electron beam irradiation on the metal surface. This system ensures the level position for an accuracy within ± 1 mm. The controllability of the vacuum evaporating equipment will be improved by this monitor.

### 1. まえがき

近年，フィルムや鋼板の表面に高融点金属を蒸着し，機能向上を図ることが行われている．そこでは金属蒸気を発生させるための熱源として電子銃が用いられ，長尺のるつぼ中の金属を高温に加熱する．

これらの装置では所定の位置に電子ビームを照射し，なおかつ所定の入熱を与える必要がある．

そのため当社では，X線照射部から発生するX線を用いて電子ビームの照射位置や形状が蒸着膜を介しても監視できるX線カメラを開発した[(1)]．さらに，金属蒸発に伴って減少するるつぼ内金属を一定レベルに保つことによって蒸着装置としての安定性向上が望まれた．

これを受けて本研究ではX線カメラを2台用いて，2方向から同時に電子ビーム照射位置を検出することにより，三角測量の原理で溶融金属レベルを測定するシステムを開発した[(2)]．従来は，窓ガラスを通して目視により液レベルの増減を監視し，レベルが不足すれば原料金属を供給するという手法であったため，窓ガラスへの蒸着などの問題もあり長時間の監視も困難であった．

このX線カメラによる三角測量法は，電子ビームの軌道が不確かな場合や外乱の影響で所定の照射位置から外れた場合でも安定したレベル監視ができ，また長時間連続監視ができるのが特徴である．

なお，従来から連続鋳造装置で利用されてきたX線式レベル計は，るつぼを挟んだ両端にX線源とラインセンサを配置して液体部分を投影するものであり，るつぼのサイズや材質の制約が厳しく，本研究のものとは原理的に異なる．

### 2. X線カメラの概要[(3)]

本研究で使用したカメラはX線源自身の画像を得るために，ピンホール（厚さ1 mmの鉛板に直径0.1～0.5 mmの穴をあけたもの）による光学系を用いている．図1にその結像概念図を示す．電子ビームを金属面に照射すると，照射面は電流密度分布に対応した強度分布を持つX線光源となる．そこから発するX線はピンホールによってX線画像の検出器有感面に結像される．このときX線は可視光とは異なり，蒸着膜やBe窓を透過して真空容器外側に導くことができる．X線有感面は二次元電子増倍素子であるマ

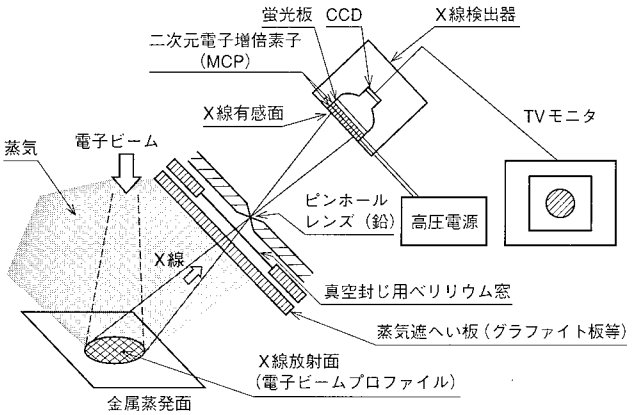



図1　X線カメラを用いた電子ビームプロファイルモニタ装置の概念図　電子ビーム照射面から発生するX線をピンホール光学系でX線検出器の有感面に結像する．
Schematical view of electron beam profile monitoring system by X-ray pinhole camera

*1 広島研究所応物・振動研究室主務　*3 広島研究所応物・振動研究室
*2 広島研究所機構技術グループ　*4 原子力プラント技術部量子システムグループ

イクロチャネルプレート（以下，MCP と称す）に CsI などをコーティングしたもので，MCP 2 枚で最大 $10^6$ の利得が得られる．

その MCP は小型の真空容器中に封じ込めてあり，増倍した電子が蛍光面で可視光に変換され，光ファイバを介して真空容器外の CCD 素子に導かれビデオ信号として出力される．図 2 に X 線カメラ 2 台を蒸着装置に取付けた状況を示す．X 線カメラ全体の構成は図 2 に示すような X 線遮へい性能を有するケースの中に MCP を内蔵した X 線検出器とピンホール光学系から成る．ピンホールは外部から操作して移動できる構造になっており，有感面に結像する像の大きさを変化させることが可能である．

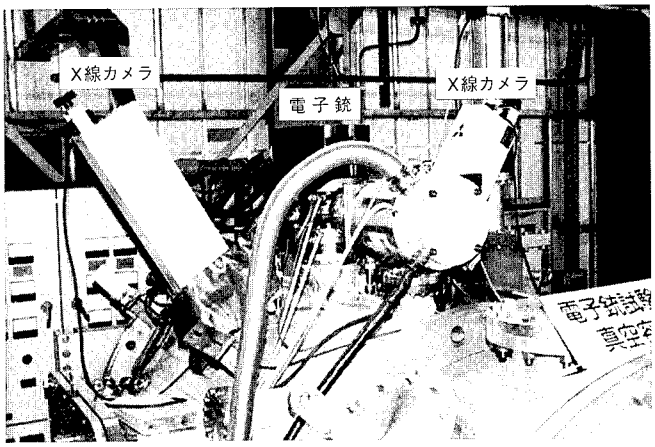



図 2　X 線カメラの取付け状況　電子銃を挟んで 2 台の X 線カメラが真空蒸着試験装置の上部に設置されている．
Attaching situation of two X-ray cameras

## 3．レベル検出原理

### 3．1　座標系の設定

図 3 に液レベル算出に関する測定原理説明図を示す．

るつぼ液面が初期レベルのとき，その液面を基準とする．そして，電子ビーム照射形状の重心点を原点とした $XYZ$ 座標系を設定する．つぎに，両カメラの光軸が $X$-$Z$ 平面内に入り，かつ受光面上の $X'$ 軸が基準座標上の $Y$ 軸と平行になるようにそれぞれの X 線カメラを設置したとする．また，このときの X 線カメラの取付け角度は基準座標 $Z$ 軸からの傾斜角度とし，それぞれ $\theta$ で示す．

図 3 に示す測定るつぼ液面のように液レベルが変化すると，電子ビーム照射位置から発する X 線の結像位置は両カメラの受光面上において，図に示すように移動する．したがって，受光面上の $X'Y'$ 座標上の重心 $D$ はそれぞれ $Y'$ 軸方向に移動する．

レベルを計算するためには，まず，受光面上の $X'Y'$ 座標系を基準座標に座標変換する必要がある．その変換式はつぎのとおりである．

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cos\theta \\ -1 & 0 \\ 0 & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} + (L_1+L_2) \begin{bmatrix} \sin\theta \\ 0 \\ \cos\theta \end{bmatrix} \tag{1}$$

ここで，

$L_1$：受光面座標原点からピンホールまでの距離（mm）

$L_2$：ピンホールから基準座標までの距離（mm）

$\theta$：X 線カメラの傾斜角度（°）

また，ピンホール座標（$X_P$，$Y_P$，$Z_P$）は $XYZ$ 基準座標では，次式で表せる．

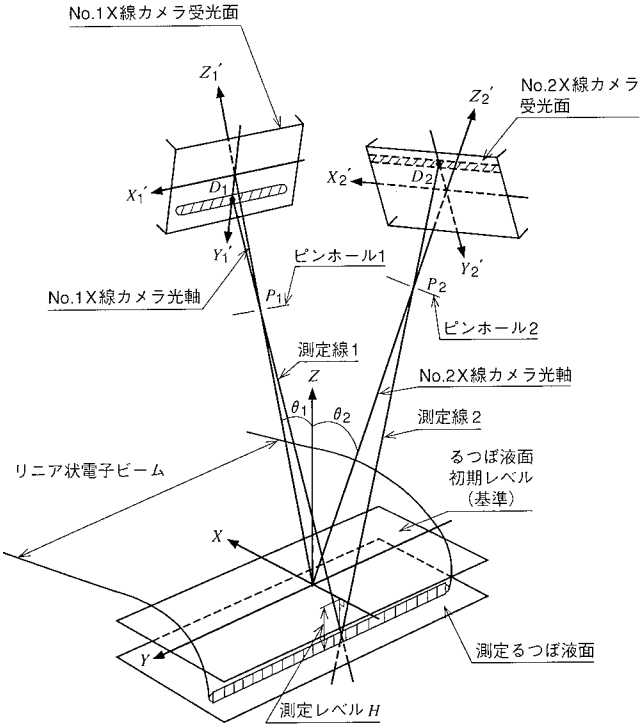



図 3　液レベル測定原理図　2 台の X 線カメラ受光面に，ピンホールを通過した X 線が結像すると三角測量の原理で X 線発生位置が特定できる．
Explanation drawing of level measuring system

$$X_P = L_2 \sin\theta \tag{2}$$

$$Y_P = 0 \tag{3}$$

$$Z_P = L_2 \cos\theta \tag{4}$$

### 3．2　液レベルの算出

図 3 に示した X 線カメラ受光面上において結像した画像の重心座標をそれぞれ $D_1$，$D_2$ とし，ピンホールの座標を $P_1$，$P_2$ とする．すると直線 $D_1P_1$（測定線 1）と直線 $D_2P_2$（測定線 2）は元来同一の X 線発生源から直進した X 線の道筋を示しているから，理想的には両直線は交点があるはずである．したがって，交点は測定する液面上にある電子ビーム照射形状の重心位置を示すと同時に，交点の $Z$ 座標が測定液レベル $H$ を示す．ただし，現実的には X 線カメラの設置誤差などの影響から完全なる交点は存在しない．よって，2 本の測定線 $D_1P_1$ と $D_2P_2$ の最も接近した位置を交点として求めることとした．なお，以下に示す式の座標系はすべて（$XYZ$）座標系である．

測定線 1，2 はそれぞれ次式で表される．

$$\frac{X-X_{P1}}{X_1-X_{P1}} = \frac{Y}{Y_1} = \frac{Z-Z_{P1}}{Z_1-Z_{P1}} = k \tag{5}$$

$$\frac{X-X_{P2}}{X_2-X_{P1}} = \frac{Y}{Y_2} = \frac{Z-Z_{P2}}{Z_2-Z_{P1}} = h \tag{6}$$

ここで，

（$X_1$，$Y_1$，$Z_1$）：$D_1$ 点の座標

（$X_2$，$Y_2$，$Z_2$）：$D_2$ 点の座標

（$X_{P1}$，0，$Z_{P1}$）：ピンホール 1 の座標

（$X_{P2}$，0，$Z_{P2}$）：ピンホール 2 の座標

さらに測定線同士が最も接近する座標がそれぞれ存在し，その $Z$ 座標を $Z_{1e}$，$Z_{2e}$ とすると，求めたいレベル $H$ はその平均値で表し，以下のようになる．

$$H = (Z_{1e}+Z_{2e})/2 \tag{7}$$

ここで，

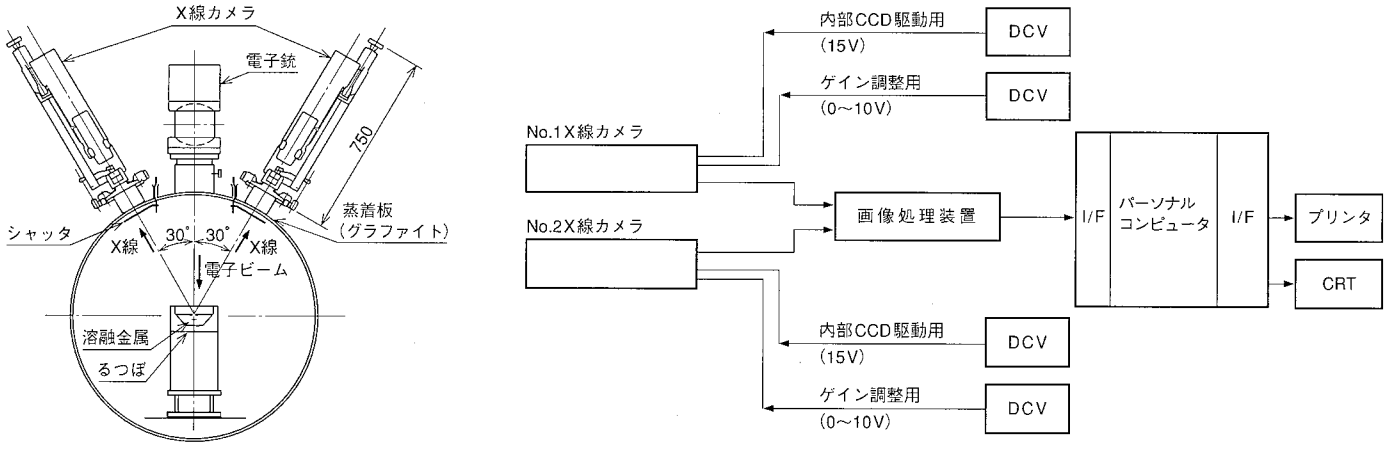



**図4　試験装置及びシステム構成**　装置は2台のX線カメラの光軸を，るつぼ液面上の中心に合せてある．2台のX線カメラからの画像情報が同時に画像処理装置に導かれ，X線画像の重心検出が行われる．パーソナルコンピュータは液レベル演算処理を行う．
Schematic view of test eguipment and block diagram of level monitoring system

$$Z_{1e}=Z_{P1}+k(Z_1-Z_{P1})$$
$$Z_{2e}=Z_{P2}+h(Z_2-Z_{P2})$$

## 4. 性能評価結果

### 4.1 試験装置

図4(a)にX線カメラを設置した試験装置構成の例を示す．

半径約1mの真空容器内中央に蒸発対象金属を満たしたるつぼを設置し，電子銃は真空容器天井からるつぼ中心をねらっている．また，2台のX線カメラは電子銃を挟んで左右に分かれて設置しており，両カメラ共るつぼ中心に光軸が合せてある．この状態で電子ビームをるつぼ中心に照射して金属蒸気を発生させると，金属蒸気はBe製X線窓を蒸着させてしまう恐れがある．したがって，保護のためのグラファイト製の蒸着板で金属蒸気を遮るように配慮されている．なお，図4に示した電子銃の姿勢や設置位置にはほとんど制限はない．磁界を利用して電子ビームがるつぼに到達するように配慮すればよい．

### 4.2 システム構成

図4(b)にシステム構成を示す．

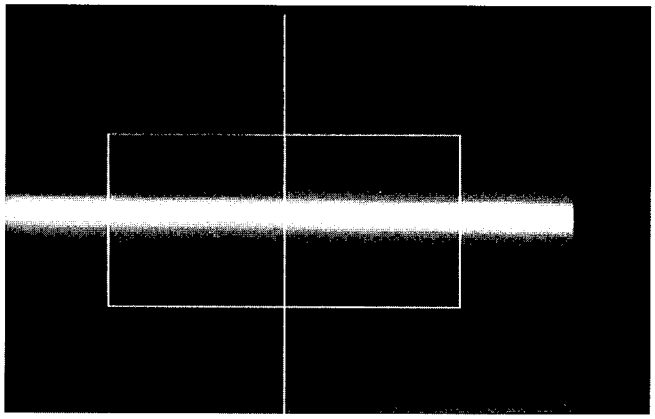
2台あるX線カメラはそれぞれNo.1，No.2と呼び，それぞれのカメラの作動に必要なCCD用電源とMCPへの印加電圧調整用の電源が接続されている．そして，両カメラの映像信号は1台の画像処理装置にリアルタイムで導かれる．さらにパーソナルコンピュータにより，画像処理装置をコントロールして画像処理データを用いてレベル演算処理を行う．なお，X線画像は50回積算したものを処理し，測定に要する時間は約1minであった．

### 4.3 基礎試験

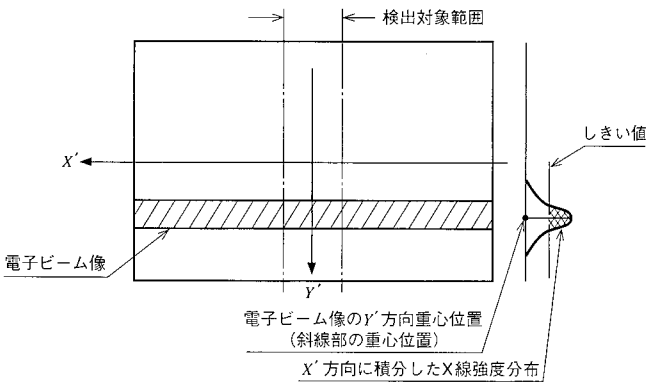
図5(a)に基礎試験時にX線カメラで捕えた電子ビーム像を示し，図5(b)に重心座標検出に至る画像処理方法の説明を示す．

3.1節で説明したとおり，X線カメラは，画面$X'$軸がリニア状の電子ビーム像に対して平行に写るように設置してある．したがって，画像の重心座標を求めるための画像処理は，$X'$軸方向に積分したX線強度分布を得ることで容易に求まる．すなわち，電子ビーム像の$Y'$方向重心位置は，X線強度分布に適切なしきい値で区切られた範囲内の重心演算で得られる．こうした手法で得られた$X'Y'$座標上での重心座標を式(1)に従って座標変換して，式(7)に代入して液レベル$H$が求まる．

基礎試験では検出精度を確認するため，るつぼの代りに上下に20μmの精度で昇降できる台を設置し，その上に融点の高いタングステン板を乗せて模擬的な液面を用意した．



(a) X線カメラが捕えた画像




(b) 画像処理方法

**図5　X線カメラが捕えた画像及び画像処理方法**　走査電子ビームの照射形状がリニア状に映し出されている．中央の十字線はX線カメラの光軸中心を示している．$X'$軸方向にリニア画像を積算処理してX線強度分布を求める．
Example of picture taken by one X-ray camera and image processing

図6に検出精度の確認試験結果を示す．

横軸は昇降台の設定レベルを示しており，縦軸は表示されたレベルを示している．それぞれの点は同一レベルで10回づつ測定した平均値を示している．図に示されているとおり，両レベルは良い一致を示している．

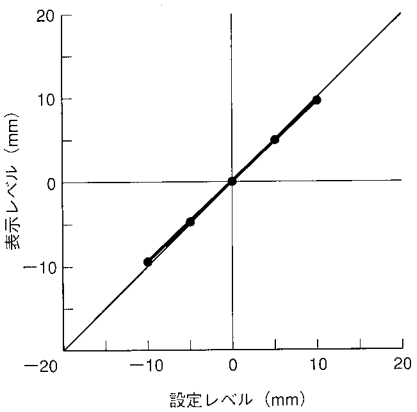



**図6　測定精度評価結果**　るつぼの代りに高精度昇降台を設置して得られるレベルの平均値をプロットした．
Appraised accuracy of measurement

**表1　液レベルの測定誤差評価結果**
Total accuracy of level monitoring system

| | | No. 1 X線カメラ | | | No. 2 X線カメラ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ①光学パラメータによる誤差 | | 光学パラメータ誤差 | | 液レベル誤差 | | 光学パラメータ誤差 | 液レベル誤差 |
| | $L_{11}$ | 2.5 mm | | 0.2 mm | $L_{21}$ | 2.5 mm | 0.2 mm |
| | $L_{12}$ | 6 mm | | 0.1 mm | $L_{22}$ | 6 mm | 0.1 mm |
| | $\theta_1$ | 1° | | 0.1 mm | $\theta_2$ | 1° | 0.1 mm |
| | 計 | | | 0.3 mm | 計 | | 0.3 mm |
| ②位置検出誤差による誤差 | | | 画素誤差 | 液レベル誤差 | | 画素誤差 | 液レベル誤差 |
| | $X_1$'方向 | | 1画素 | 0 mm | $X_2$'方向 | 1画素 | 0 mm |
| | $Y_1$'方向 | | 1画素 | 0.4 mm | $Y_2$'方向 | 1画素 | 0.3 mm |
| | 計 | | | 0.4 mm | 計 | | 0.3 mm |
| ③X線の統計的ばらつきによる液レベル誤差 | | | | 0.3 mm (積算回数50回) | | | |
| 液レベル総合誤差 | ④系統誤差 (①) | | | 0.4 mm | | | |
| | ⑤偶然誤差 (ばらつき誤差) (②, ③) | | | 0.6 mm | | | |
| | 総合誤差 (④, ⑤) | | | 0.7 mm | | | |

### 4．4　蒸発試験結果

図7に連続的に測定した液レベルの推移を示す．時刻が経過するにつれて，蒸発に伴ったレベルの減少が確認できる．例えば，0 min から 18 min ころまでに約 2 mm 程度減少している．また，下向きの矢印は原料を供給した時刻を示している．原料はペレット状のものを使用している．それぞれの原料供給個数は1個であり，1個のペレットの体積と溶融域の面積から換算して約 1 mm の液レベルの上昇が見込まれる．図中の原料供給前後に見られる液レベルの上昇も平均して 1 mm 程度上昇しており，見込みどおりの結果を得たものと評価される．

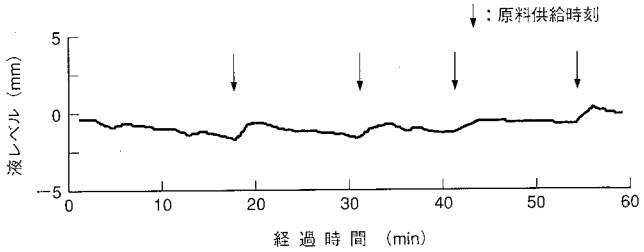



**図7　液レベルの推移**　原料供給前後で 1 mm のレベル上昇が確認できる．
Example of transiting level

### 4．5　測定誤差評価

表1に液レベルの測定誤差評価結果を示す．誤差の要因としては以下の3点が挙げられる．

(1) 光学パラメータの誤差

X線カメラの据付けや組立から加算される寸法誤差については，真空容器等に JIS B0408 C 級の公差が適用されるものとし，角度誤差はこの公差から算出した値である．表1中に示した光学パラメータ誤差はこうした公差から決定した．

また，液レベル誤差は，液レベル計算式に代入した寸法や角度に対して，それぞれ独立に光学パラメータを加えたときに求まる液レベルの変動分である．誤差の加算は2乗平均加算で行い，両方のカメラ共，それぞれ 0.3 mm の誤差が見込まれる．

(2) 位置検出誤差

MCP で X 線を電子に変換し，CCD に画像情報を伝える間に加わる誤差である．これは受光面上の1画素分に相当する．これも上記と同様に1画素分の検出位置誤差をレベル計算式に代入した．結果は No. 1 カメラで 0.4 mm，No. 2 カメラで 0.3 mm の誤差となった．両者のカメラで誤差が異なるのは X 線カメラの取付け状態が異なり，若干の光学パラメータの違いから生じている．

(3) X 線の統計的ばらつきによる誤差

到達する X 線は，瞬間的にはランダムなため画像重心は一定値を取らずばらつきが生じる．基礎試験時に得た，データのばらつきは 0.3 mm であり，画像の積算回数が各カメラごとに 50 回になるのが最適の条件あった．

以上(1)～(3)を総合すると次のようになる．

まず，系統誤差は光学パラメータ誤差から求まり，両 X 線カメラ分の二乗平均値は約 0.4 mm である．つぎに，偶然誤差は位置検出誤差とばらつき誤差の二乗平均で求まり，0.6 mm となる．したがって，総合誤差は系統誤差と偶然誤差の二乗平均で求めると 0.7 mm 程度となる．以上の結果から，液レベルの測定は約±1 mm 以下の精度で計測できるものと考えられる．

## 5．ま　と　め

るつぼ液レベルを測定する目的で，液面上の電子ビーム照射位置から発生する X 線を，2台の X 線カメラによって三角測量する液レベル測定装置を開発し，以下の結果を得た．

(1) 液レベルの計測サイクルは1回当り約 1 min である．

(2) 液レベルの測定誤差は±1 mm 以内である．

(3) 金属蒸発試験において，原料供給によってほぼ予想される液レベルまで回復でき，運転の制御性向上の役割を果した．

今後原料供給の自動化や溶融金属表面の元素分布計測機能を有する X 線カメラを組込んだ，高性能型真空蒸着装置の開発を行う予定である．

### 参　考　文　献

(1) 若元郁夫ほか，超高感度 X 線カメラの開発，第39回応用物理学関係連合講演会予稿集　2冊分　30 a—SNC—25 (1992) p.563

(2) 寺田正文ほか，X 線ピンホールカメラを用いたるつぼ液レベルモニタの開発，日本原子力学会 1995 年秋の大会予稿集 II-9

(3) 若元郁夫ほか，電子ビームプロファイルモニタ装置の開発，三菱重工技報　Vol.30　No.4 (1993-7) p.329

# 超臨界水による廃プラスチック油化プロセスの開発

Development of Liquefaction Process of Plastic Waste in Supercritical Water

機械事業本部　木村和明[*1]　杉田覚[*2]
技術本部　小林一登[*3]　松原亘[*4]
東北電力株式会社　齊藤喜久[*5]　守谷武彦[*6]

年々増加する廃プラスチックを処理するため，低コストの処理プロセスの開発が望まれている．その手段の一つとして東北電力(株)と当社は，共同で超臨界水を利用した廃プラスチックの油化プロセスの開発に取組んでおり，現在，処理量0.5 t/dのパイロットプラントを用いた油化試験を進めている．対象廃プラスチックの一例として，架橋ポリエチレン製電線被覆の廃材を油化し，反応時間2 minで，油化率が80％以上を得られるのが分かった．また，試験期間を通じてコーキングトラブルはなく，起動，停止運転での操作性も良好であった．

A new liquefaction process of plastic waste in supercritical water has been developed, and a pilot plant of 0.5 ton/day capacity has been constructed. We successfully liquefied scrap of plastic materials of electric cable made of crosslinked polyethylene without any coking trouble and obtained the liquefaction yield of more than 80%. The pilot plant tests showed good stability in daily start and stop operation.

## 1. まえがき

我が国で年間846万t（平成6年度）排出されている廃プラスチックの大半は埋立，焼却により処理されているのが現状である．しかしながら，これらは埋立用地の不足や焼却による環境汚染の懸念等，廃プラスチック処理特有の問題を抱えている．

一方，平成7年6月に成立した容器包装リサイクル法により，低コストで廃プラスチックを油化・再資源化するプラントのニーズがますます高まっており，各企業で開発を急いでいる．

これに対して当社では，超臨界水の特殊物性に注目し，超臨界水を反応媒体とした廃プラスチック油化プロセスの基礎試験に平成6年度から着手している．現在，廃プラスチック処理量0.5 t/dのパイロットプラントを当社広島研究所に建設し，各種廃プラスチックを用いた油化試験を実施中である．また，平成8年10月から東北電力(株)と共同研究を開始し，本油化プロセスの実用化へ向けてパイロット試験を本格化している．

本報では，超臨界水による廃プラスチック油化技術の概要と基礎試験の結果及び産業廃棄物系プラスチックを用いたパイロット試験の結果について報告する．

## 2. 超臨界水油化プロセスの概要と特徴

### 2. 1 超臨界水油化プロセスの概要

超臨界流体とは，一般にその物質の臨界温度以上かつ臨界圧力以上の，液体でも気体でもない状態にある流体のことであり，その密度は液体と同程度に大きいにもかかわらず，流動・拡散性は気体と同程度に高いため，これらの特徴を利用した分離・抽出プロセスが実用に供されている．

水は臨界温度647 K（374℃），圧力22 MPa（225 kgf/cm²）で超臨界水状態となるが，その際，前述した超臨界流体としての特性のほかに，通常の水と著しく異なる物性を示す．特に有機物の溶解度が増大し，通常水に溶解しにくい油が短時間で超臨界水中に溶解し，均一相を成す性質がある[(1)(2)]．

当社では，このような超臨界水の特性を生かし，廃プラスチックを短時間に高収率で油化するプロセスを開発中である[(3)]．表1に従来の熱分解プロセス[(4)]と比較した結果を示す．超臨界水油化プロセスは，分解後の生成油が速やかに超臨界水中に分散，希釈されるため，重縮合や炭素化反応が進行し難く，炭素質である残渣(さ)の生成が抑制されると考えられる．このため，従来法に比べて反応温度を高く設定することで反応時間を約1/15に短縮可能であり，油化率が高くなる特徴がある．

表1　超臨界水法と従来の熱分解法のプロセス比較
Comparison of supercritical water process with conventional thermal cracking process

| 項目 | | | 超臨界水法 | 従来の熱分解法[(4)] |
|---|---|---|---|---|
| 反応条件 | 温度 | (K) | 673～773 | 673～723 |
| | 圧力 | (MPa) | 25～30 | 0.1 |
| | 反応時間 | (min) | 2 | 30 |
| 油取率 | | (wt %) | 80～99 | 80～90 |
| エネルギー回収率 $\left(\frac{\text{生成油発熱量}}{\text{廃プラスチック発熱量}}\right)\times 100$ | | (%) | 75～85 (熱回収が必要) | 70～80 |

### 2. 2 超臨界水油化プロセスの構成

図1に超臨界水油化プロセスの構成例を示す．図1(a)のプロセスは，塩化ビニル樹脂を含む一般廃棄物系プラスチックごみ等，熱可塑性プラスチックが主体の場合に適用される．廃プラスチックを破砕・粉砕し，ガラス，陶器，鉄分等の油化不適物を除去する破砕・選別工程，廃プラスチックを加熱溶融し，塩素系プラスチックから発生する塩化水素ガスを除去する溶融・脱塩素工程，高温，高圧下の超臨界水中で廃プラスチックを分解，油化する油化工程，及びガス，水を分離し，生成油を回収する分離・回収工程から成る．生成したガスは本プラント用の燃料に使用し，分離水は循環使用する．

一方，図1(b)のプロセスは，主に熱硬化性プラスチックが主体の産業廃棄物系プラスチックの場合に適用される．廃プラスチックを破砕・選別後，水と混合して水スラリーを形成するスラリー化工程，油化工程，分離・回収工程から構成されている．

*1 化学プラント技術センター環境プラント部次長
*2 化学プラント技術センター環境プラント部環境一グループ
*4 広島研究所化学プラント研究推進室
*5 研究開発センター部長

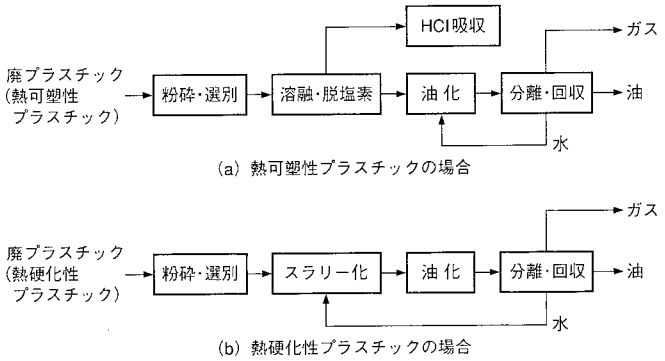



**図1　超臨界水油化プロセスの構成**　各種廃プラスチックの処理に対応できる柔軟なシステム構成となっている．
Supercritical water liquefaction process of plastic waste

このプロセスは，ごみ性状が多様に変化するというごみ特有の特性に対し，前処理，脱塩素工程，原料の供給方法のオプション化で各種廃プラスチックの処理に対応できる柔軟なシステム構成となっている．

## 3．産業廃棄物系プラスチックの油化

超臨界水油化プロセスの実用化に向けて各種産業廃棄物系プラスチックの油化に取組んでいる．その一例として，熱硬化性プラスチックの性質を持つ架橋ポリエチレン製電線被覆廃材の油化試験結果を紹介する．

### 3．1　原料組成

超臨界水油化試験の原料に供した架橋ポリエチレン製電線被覆廃材と主なはん用プラスチックの性状を**表2**に示す．

架橋ポリエチレン製電線被覆は電力ケーブル用に多く使われており，その廃材は一部が焼却されているほかは大部分が埋立処理されているのが現状である．これは架橋ポリエチレンが，ポリエチレンを架橋させた三次元網状構造から成り，加熱しても溶融せず，再成形加工・利用が困難とされているためである．また，熱分解開始温度は普通のポリエチレンよりはやや高く，機械的強度も高い．基礎試験ではポリエチレンをモデル物質として油化条件を選定した後，架橋ポリエチレン製電線被覆廃材を用いてパイロット試験を実施した．

### 3．2　基礎試験

反応温度，反応圧力，反応時間，水/プラスチック比等の油化条件を探索する目的で，ベンチスケール規模の基礎試験を実施した．**図2**に試験装置の構成を示す．この試験装置は処理量2.4 kg/dで，原料プラスチックを加熱溶融又は水スラリー化して連続供給し，油化できる．反応器はチューブラタイプで電気ヒータを用いて加熱している．

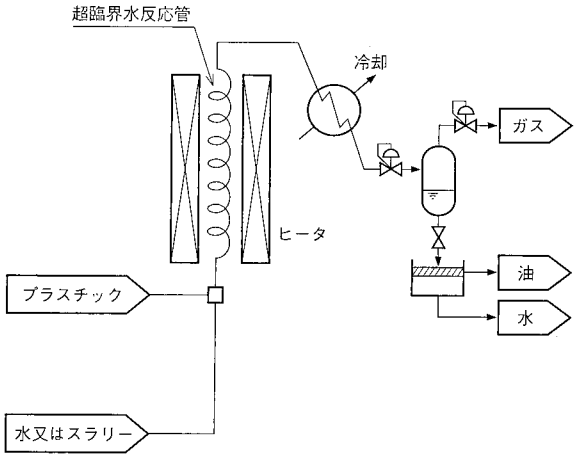



**図2　超臨界水油化基礎試験装置**　チューブラタイプの反応器，ヒータ及び気液，油水分離器から構成される．
Experimental apparatus of supercritical water liquefaction of plastic waste

(1) ポリエチレンの油化

基礎試験では，主に短い反応時間で油化率が高くなる油化条件を選定するとともに，生成油の性状を評価した．得られた油化結果の例として，**図3**にポリエチレンの分解生成物の組成と反応温度，反応時間の関係を示す．反応温度が高いほど，また，反応時間が長いほど軽質化が進行し，油化率が低下する傾向が見られた．反応温度763 K，反応時間2 minの条件では油化率は89 wt％であり，生成油は蒸留性状よりガソリン留分相当の軽質成分から重油留分相当の重質成分までの広い沸点範囲を有していた．また，いずれのケースも残渣の生成はほとんどなく，コーキングトラブルも見られなかった．

(2) 反応過酷度と油化率

超臨界水中のプラスチックの熱分解反応は，高温条件下で短時間で行わせるため，試験時の昇温時間や降温時間が油化率に与える影響も大きく，反応温度と反応時間の両方を同時に考慮する必要がある．そこで，反応性について次式で定義する反応過酷度 $R_s$ による評価を行った．

$$R_s=\sum_{i=1}^{n}\tau_i k_0 \exp(-E/RT_i) \qquad (1)$$

ここで，

$n$：反応管の分割数

$\tau_i$：反応管の $i$ 番目の分割区間内の滞留時間（s）

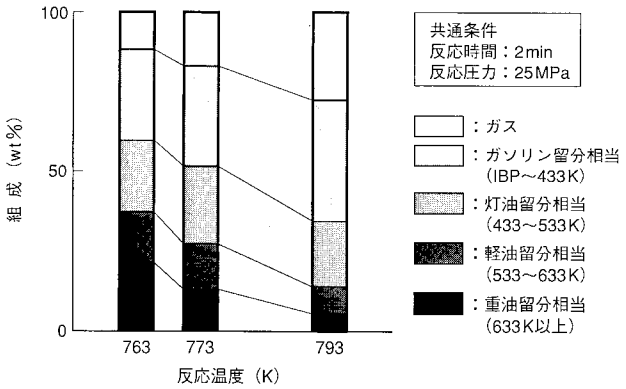
$k_0$：頻度因子（1/s）

$E$：活性化エネルギー（cal/mol）

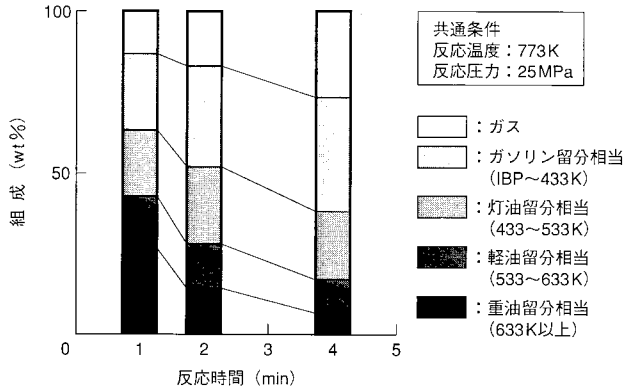
**表2　各種プラスチックの性状**
Properties of plastic

| | 融点 (K) | 熱分解開始温度 (K) | 元素分析 (wt％) C | H | O | N | Cl | その他 | 合計 | 低位発熱量 (kJ/kg) | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 架橋PE製電線被覆 | — | 648 | 83.2 | 14.4 | 0 | 0 | 0.02 | 2.4 | 100.0 | 42 790 | |
| PE | 388 | 593 | 85.7 | 14.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 46 000 | |
| PP | 443 | 613 | 85.7 | 14.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 44 000 | |
| PS | 563 | 583 | 92.3 | 7.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 40 200 | |
| PVC | 428 | 493<br>543 | 39.1 | 5.0 | 0.1 | 0 | 55.7 | 0.1 | 100.0 | 18 000 | 493 K：脱塩素<br>543 K：分解 |

注）PE：ポリエチレン　PP：ポリプロピレン　PS：ポリスチレン　PVC：ポリ塩化ビニル




(a) 反応温度の影響




(b) 反応時間の影響

**図3　ポリエチレンの油化特性**　反応温度763 K，反応時間2 minの条件で油化した結果，油化率は89 wt %であった．
Liquefaction of polyethylene

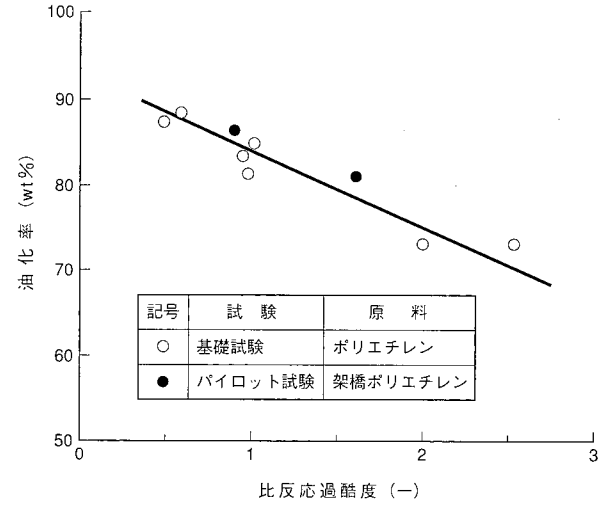



**図4　比反応過酷度と油化率の関係**　同じ反応過酷度で操作することにより，同じ油化率が得られる．
Relationship between reaction severity and yields of liquefaction

$R$：気体定数 [cal/(K·mol)]

$T_i$：$i$ 番目の分割区間内の平均温度 (K)

図4に式(1)から算出した反応過酷度の基準条件における値との比，すなわち比反応過酷度と油化率の関係を示す．

その結果，比反応過酷度と油化率はほぼ直線関係にあり，油の熱分解反応で知られているように[5]，異なる反応温度，反応時間でも反応過酷度が同じであればほぼ同じ油化率が得られることが分かった．

### 3．3　パイロット試験

パイロット試験では，基礎試験で設定した油化条件の検証と，超臨界水油化プロセス及び装置の性能と運転操作性の評価を目的として行った．

#### 3．3．1　パイロット試験装置の概要

基礎試験で得た結果を基にパイロット試験装置を設計，製作した．図5にパイロット試験装置の外観と概略フローを，表3に主な仕様を示す．

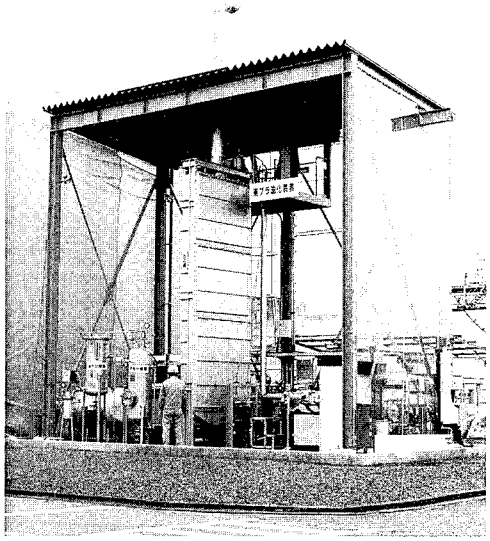
本装置は処理量が0.5 t/dであり，次の特徴がある．

(1) 反応管は処理量数十t/dの実機の反応管1本分を想定したものであり，本数を増やすことで容易に装置の大型化ができる．

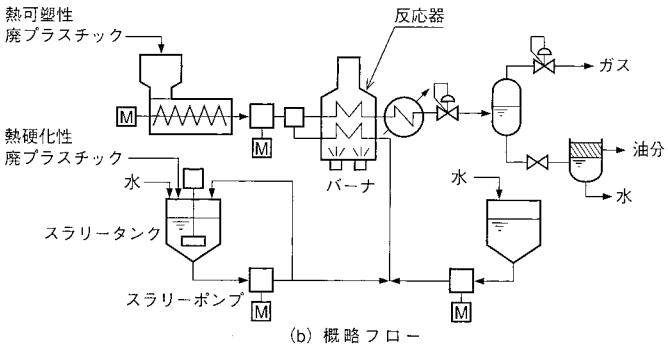
(2) 原料供給装置を2種類保有し，熱可塑性プラスチック，熱硬化性プラスチック共に処理できる．

(3) 反応後の高温のプロセス流体と，常温で供給する水，スラリー及び燃焼用空気を熱交換し，熱回収を行っている．

(4) 油水分離後の水を循環使用する．



(a)外　観




(b) 概略フロー

**図5　パイロット試験装置（処理量0.5 t/d）**
Pilot plant of supercritical water liquefaction of plastic waste

**表3　パイロット試験装置の主仕様**
Specification of pilot plant

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| 処理能力 | 0.5 t/d |
| 設置寸法 | 縦5×横8×高さ7 m |
| 原料供給方式 | 溶融状態または水スラリー状態でポンプによる供給 |
| 反応管系列数 | 1系列 |
| 反応管型式 | チューブラタイプ |

表4　架橋PE製電線被覆廃材の油化試験結果の例
Results of liquefaction of crosslinked polyethylene

| 試験装置 | | | パイロット試験機 |
|---|---|---|---|
| 条件 | 反応温度 | (K) | 752 |
| 条件 | 反応圧力 | (MPa) | 25 |
| 油化率 | | (wt %) | 86 |
| 生成油の性状 | 蒸留性状 | | |
| | 留出量 | | 留出温度 (K) |
| | IBP (初留点) | | 308 |
| | 10 % | | 387 |
| | 20 % | | 426 |
| | 30 % | | 469 |
| | 40 % | | 519 |
| | 50 % | | 568 |
| | 60 % | | 619 |
| | 70 % | | 671 |
| | 80 % | | 724 |
| | 90 % | | 781 |
| | 主要性状 | | |
| | 比重 | (15/4 ℃) | 0.818 |
| | 高位発熱量 | (kJ/kg) | 45 210 |

### 3．3．2　架橋ポリエチレン製電線被覆廃材の油化試験結果

粉砕された電線被覆廃材は，水スラリーとして連続供給し油化した．油化率は80～90 wt %と高く，基礎試験と同様に反応温度が低いほど高い油化率が得られた．表4に生成油の性状例を示す．

(1) 生成油の性状

生成油は，蒸留性状より軽質成分から重質成分までの広い沸点範囲を有しており，IBP（初留点）～433 K（ガソリン留分相当）21 %，433～633 K（灯・軽油留分相当）42 %及び633 K以上（重油留分相当）37 %の割合である．

(2) 反応過酷度と油化率

ベンチ試験装置とパイロット試験装置の反応管温度分布の例を図6に示す．基礎試験装置とパイロット試験装置では加熱方法や反応管の寸法が異なるため，温度分布も大きく異なっている．そこで，パイロット試験の反応過酷度を基礎試験のそれと合致させて運転し，その油化率を図4中に示した．同じ反応過酷度となる反応条件で操作することで油化率がほぼ等しくなることから，反応過酷度による評価が基礎試験，パイロット試験時の油化率に対し使用できることが判明した．

(3) 運転操作性

油化プラントを昼間のみ運転することを想定して，プラントを朝晩に起動，停止する運転（DSS）モードで操作を行った．当該操作を行っても，各部の温度，圧力，流量は安定しており，運転の操作性も良いことから，DSS運転にも対応できるプロセスであることが確認できた．また，試験期間を通じてコーキングの兆候は見られなかった．今後は，実用のための安定運転性を検証する予定である．

## 4．ま　と　め

超臨界水を反応溶媒とする廃プラスチック油化プロセスを開発し，処理量0.5 t/dのパイロット試験装置を用いて産業廃棄物系プラスチックの油化試験を実施した．

その結果，架橋ポリエチレン製電線被覆廃材を高い収率で油化できることが実証できた．

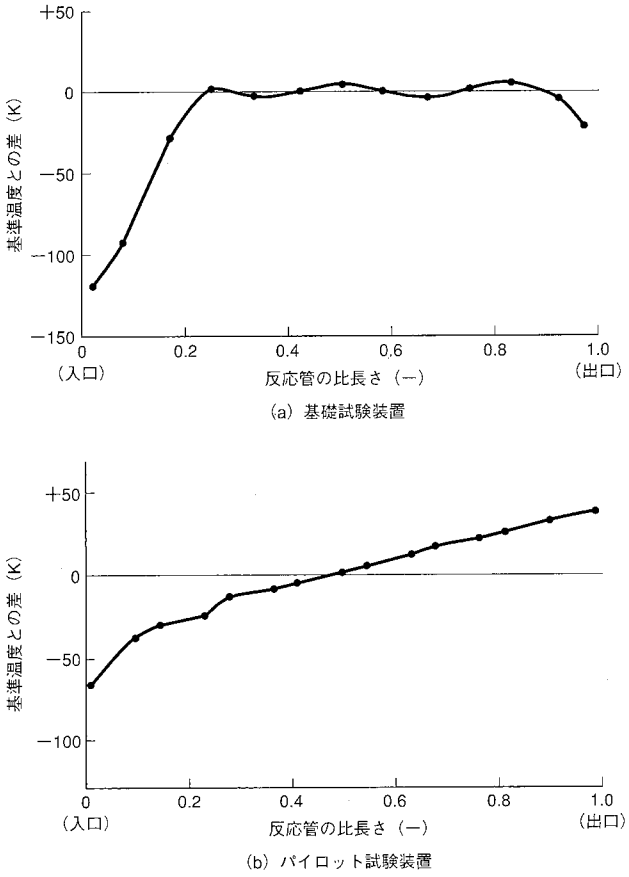



図6　反応管の温度分布　基礎試験装置とパイロット試験装置では，反応管の温度分布が大きく異なっている．
Temperature distribution of reactor

これにより，本プロセスは既に実廃材を用いて実証した熱可塑性プラスチック[3]に適用できるほか，熱可塑性以外のプラスチックにも適用できることを明らかにした．

今後は他の廃プラスチックの油化試験，長期連続試験を行い，適用プラスチックの拡大と装置性能の安定性，耐久性の評価を行うとともに，装置の簡素化を進める予定である．

さらに，現在東北電力(株)の関係会社である北日本電線(株)に処理量0.5 t/dの実証プラントを建設し，平成10年から架橋ポリエチレン製電線被覆廃材の油化運転を開始する予定である．

### 参　考　文　献

(1) 超臨界流体の基礎・物体・利用技術，アイピーシー (1985) p.448
(2) 齋藤ほか，超臨界流体の化学と技術，三共ビジネス (1996) p.227～299
(3) 桜田ほか，都市ごみ廃プラスチック油化装置の開発，三菱重工技報　Vol.34　No.3 (1997) p.170～173
(4) 栗柄ほか，廃プラスチック熱分解装置の開発，三菱重工技報 Vol.10　No.5 (1973) p.787～794
(5) Yan, T. Y., Coke Formation in Visbreaking Process, Symposium on Advances in Resid Upgrading Presented Before the Division of Petroleum Chemistry, A. C. S. Dallas Meeting April 5-10 (1987) p.490～495

# ヘリコプタロータ空力騒音解析プログラムの開発

Development of Aeroacoustics Analysis Program for Helicopter Rotor

名古屋航空宇宙システム製作所　内山直樹[*1]　中尾雅弘[*2]
中菱エンジニアリング株式会社　鈴木博史[*3]
文部省宇宙科学研究所　藤井孝藏[*4]
株式会社コンピュータ・テクノロジー・インテグレイタ　大村稔[*5]

近年，ヘリコプタの低騒音化を目指した設計技術の一環として，ロータ空力騒音の数値解析への要求が高まりつつある．ロータ空力騒音は，ブレード上の非定常な空気力に起因する騒音であり，その推定には複雑なロータ周りの流場解析と音場解析が必須となる．本研究では，特に都市部での離着陸の機会の多い民間ヘリコプタにおいて問題となる，ブレードと先行するブレードからの翼端渦との干渉（Blade-Vortex Interaction：BVI）による空力騒音の推定を目的とした解析プログラムを開発した．適用例として，飛行試験及び風洞試験を模擬した解析を行い，解析と試験データを比較した．この結果，本プログラムによる数値解析によりBVI騒音の推定が可能であることが示された．

An analysis system for predicting helicopter rotor aerodynamic noise has been developed. The system consists of a Navier-Stokes solver for near rotor flowfield computation and an acoustic wave equation solver for computing the sound pressure propagation to the farfield. For aerodynamic validation, the results obtained from Caradonna's test rotor for hovering and the AH-1G OLS rotor in forward flight are presented. For aeroacoustic validation, the sound pressure history obtained from the UH-1 rotor for hovering and the AH-1G OLS rotor in forward flight are presented.

## 1. まえがき

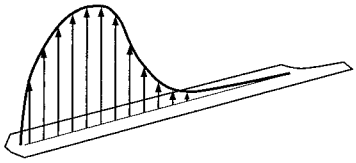
近年，ヘリコプタの普及とともに，飛行性能や乗心地に加えて環境に対する配慮から，低騒音化が重要課題となってきている．

ヘリコプタの騒音源としてはロータ，ギヤボックス，エンジン等があるが，特にロータ空力騒音は，機外騒音の主要な部分を占める顕著なものである．ロータ空力騒音にかかわるパラメータとしては，ブレード形状，ブレード運動のコントロール手法，飛行条件等が挙げられる．ロータの設計段階から低騒音化を考慮した，最適ブレード形状及び飛行条件等を設定できるようにするため，当社では，ヘリコプタの騒音解析手法の開発に取組んできた．

ここでは，その一環として行ったロータBVI（Blade-Vortex Interaction）騒音推算手法の開発について述べる．

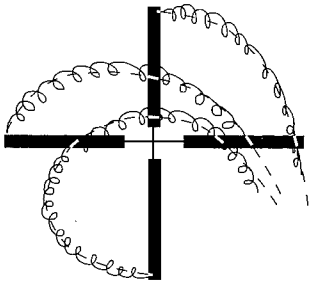
## 2. ヘリコプタロータ騒音

ロータ騒音は大別して，ブレード面上の圧力変動及び音源―観測者間の相対加速度運動に起因する周期的自己騒音，先行するブレードの出す翼端渦と後続のブレードが干渉して音を発生するBVI騒音，ブレード表面上の境界層乱れや後流渦等が音源となる広い周波数域に分布する広帯域音の3種がある（図1参照）．このうち，周期的自己騒音と広帯域音は飛行条件にかかわらず発生するが，BVI騒音については降下／着陸時に顕著となる音で，ばたばたという羽ばたき音となる．特に，民間ヘリコプタの場合は，BVI騒音がヘリポート周辺での騒音問題の要因となる．本研究では，特にBVI騒音に着目して解析手法の開発を行った．このBVI騒音を推算するためには，ブレードの発する後流渦の強さと位置をいかに精度良く推算するかが技術的なポイントとなる．そこで，渦とブレードとの干渉効果を解く方法として，従来用いられてきた揚力線理論に代り，CFD（Computational Fluid Dynamics）を用いた空力解析コードを開発した．本手法と同様なアプローチを採る研究例として文献(1)が挙げられる．



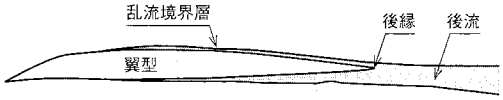
ブレード面上の圧力変動及び音源―観測者の相対加速度運動に起因する音．

(a) 周期的自己騒音



先行するブレードの出す翼端渦と後続のブレードが干渉して発生する音．

(b) BVI騒音



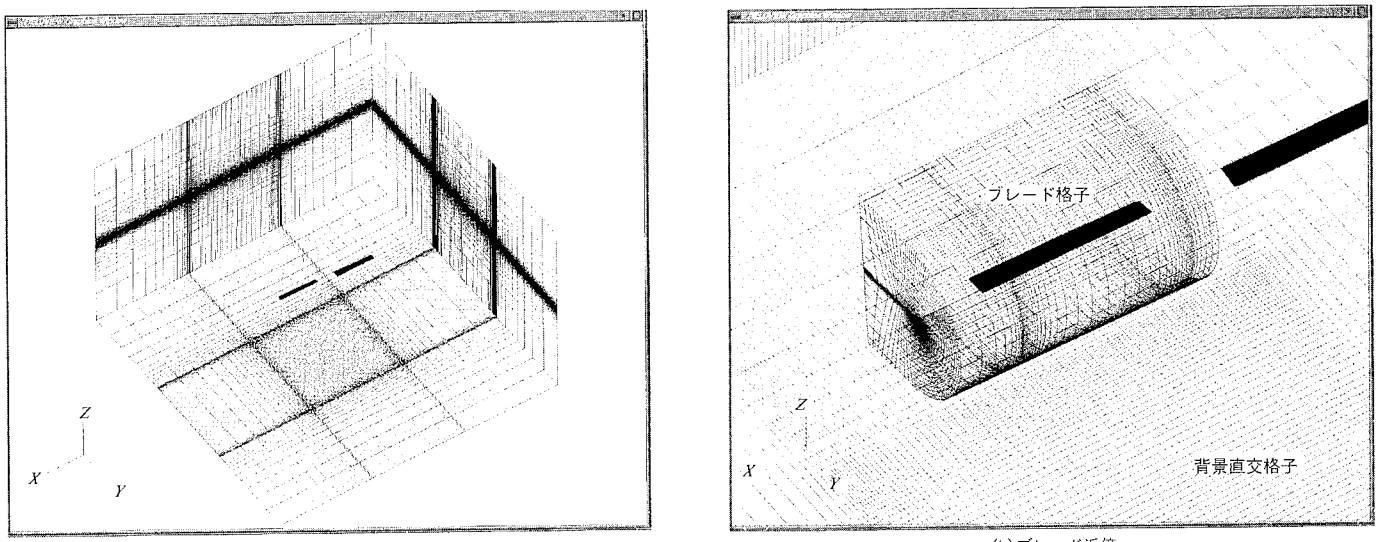

ブレード表面上の境界層乱れや後流渦等による音．広い周波数域に分布する．

(c) 広帯域音

図1　ヘリコプタ・ロータ空力騒音の分類　ロータ空力騒音は3種類に分類される．
Aerodynamic noise of helicopter rotor

次に，その結果を用いて遠方での音場を計算する音場解析コードの開発を行い，これらを組合せることでBVI騒音の推算を実現した．

*1 研究部空力研究課　工博
*2 研究部空力研究課
*4 高速流体力学部門助教授　工博
*5 科学技術事業部技師長




(a)格子系全体　　(b)ブレード近傍

**図2　計算格子系**　ブレード周りの格子が背景格子の中を回転する．
Numerical grid

## 3．ロータ空力騒音解析手法

本研究で開発したロータ空力騒音解析手法は，ロータ近傍場に対する空力解析コードとその結果を用いた音場解析コードから構成される．

以下に空力解析コードと音場解析コードの解析手法をそれぞれ説明する．

### 3．1　ロータ空力解析コード

#### 3．1．1　計算格子系

計算格子系は，それぞれのブレードを含むC-H型境界適合格子（以下，ブレード格子と称す）とこれを含む背景直交格子から構成される．

図2に格子系の全体及びブレード近傍をそれぞれ示す．ブレード格子は，回転，ピッチング及びフラッピング運動を行う．この際，ピッチ角 $\theta$ 及びフラップ角 $\beta$ はそれぞれアジマス回転角 $\Psi$ の一次の調和関数として与えている．

#### 3．1．2　基礎方程式

基礎方程式は計算時間の短縮を目的に，ブレード格子と背景直交格子で次のように使い分ける．ブレード格子では，粘性計算又は非粘性計算が選択できる．粘性計算時にはレイノルズ平均薄層Navier-Stokes方程式を使用し，乱流モデルにはBaldwin-Lomaxモデルを適用する．また，計算効率を重視し，非粘性計算を行う場合はEuler方程式を使用する．背景直交格子ではEuler方程式を使用する．また，基礎方程式中には，ブレード格子と背景直交格子のそれぞれで求められる解が必要個所において互いに置換されるよう，解強制置換項[2]が付加される．

以下に本計算で用いた基礎方程式を示す．

$$\partial_\tau \hat{Q}+\partial_\xi \hat{E}+\partial_\eta \hat{F}+\partial_\zeta \hat{G}-\varepsilon Re^{-1}\partial_\eta \hat{S}=x(\hat{Q}_f-\hat{Q}) \qquad (1)$$

ここで，$\varepsilon=0$，1から，それぞれEuler及び薄層Navier-Stokes方程式に切替わる．$Re$ はレイノルズ数を表す．$\hat{Q}$ は保存変数，$\hat{E}$，$\hat{F}$，$\hat{G}$ はそれぞれ一般曲線座標（$\xi$，$\eta$，$\zeta$，$\tau$）上での対流項流束を表す．また，右辺は解強制置換項を表し，解の強制される座標値（$\xi$，$\eta$，$\zeta$，$\tau$）においては，係数 $x$ に十分大きな値として $10^5$ が与えられ，保存変数 $\hat{Q}$ が強制解 $\hat{Q}_f$ に置換される．解の強制置換を必要としない大部分の格子点に対しては $x=0$ が代入される．

#### 3．1．3　計算スキーム

対流項の評価に関しては，MUSCL法により高次精度化したRoeの風上スキームを適用した．

時間進行法は計算時間の短縮を目的に，ブレード格子と背景直交格子で別とした．ブレード格子では，小さな計算格子幅でも比較的大きな時間刻み幅が採用できるLU-ADI陰解法[3]を適用した．背景直交格子ではEuler陽解法を適用した．

### 3．2　音場解析コード

#### 3．2．1　基礎方程式

音場の波動方程式には以下のFW-H方程式を用いる．同方程式は，Navier-Stokes方程式を移動境界面を考慮して一定音速 $a_0$ を特性速度とした線形波動方程式に変形することにより，導出される．

$$\left(\frac{1}{a_0^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\nabla^2\right)p' = \frac{\partial}{\partial t}[\rho_0 v_n|\nabla f|\delta(f)] - \frac{\partial}{\partial x_i}[l_i|\nabla f|\delta(f)] + \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}[T_{ij}H(f)] \qquad (2)$$

ここで，

$p'$：音圧（観測点圧力 $p$ の一様流圧力 $p_0$ からの差）
$\rho_0$：一様流密度
$v_n$：ブレード局所移動速度の法線成分
$f$：ブレード面等高値（面上 $f=0$，外部 $f>0$）
$l_i$：単位面積当りの流体力（$i$ 方向成分）
$\delta(f)$：デルタ関数
$T_{ij}$：Lighthillの応力テンソル
$H(f)$：ヘビサイド関数

式(2)右辺の3項は，それぞれ音響学的に単極子，双極子及び四極子に分類され，物理的にはそれぞれ翼厚音，荷重音及び乱流や衝撃波等の流体の非線形現象に起因した音源項に対応する．

BVI騒音は，ブレード—渦干渉に伴うブレード上の圧力変動に起因するものであり，一般に荷重音に分類される．本研究は亜音速域でのBVI騒音の推定を目的とする．このため，寄与の小さい第3項を無視した．また，この式は，右辺をCFDから求めた数値解で評価して既知のものと扱うことにより，その解析解を積分型で記述することができる．本研究ではFarassatの1A型[4]と称する積分型を用いた．

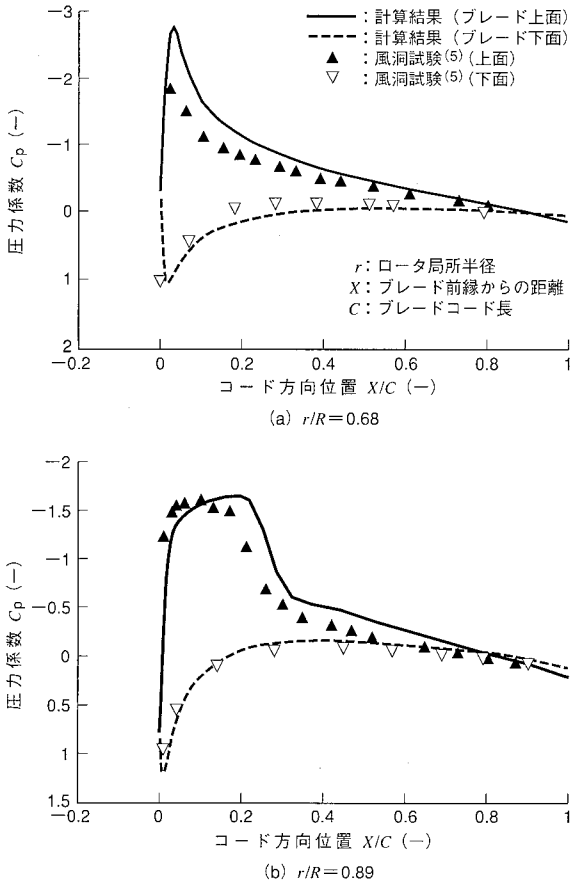



図3　ホバリング時の翼面上圧力分布　実験値とおおむね良い一致を示している．
Comparison of blade surface pressure distribution in hover

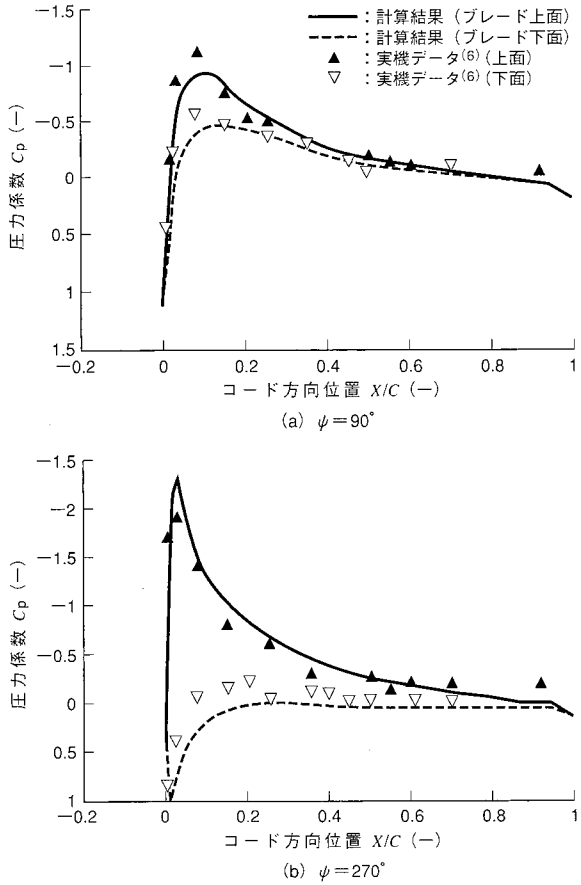



図4　前進飛行時の翼面上圧力分布　非定常性の強い前進飛行時においても実験値とおおむね良い一致を示している．
Comparison of blade surface pressure distribution in forward flight

### 3．2．2　計算方法

実際の計算においては，ブレード面上の要素分割をCFDの計算格子による分割と等しく取り，上式を数値積分により計算した．このとき，各要素から音が発せられた時刻はニュートン法により陰的に算出した．

## 4．ロータ空力騒音解析

### 4．1　ロータ空力解析

ロータ空力解析コードの検証を目的に，以下に示す2ケースの計算を行った．

(1) モデルロータのホバリング時の粘性計算

本ケースではCaradonna等[5]による風洞試験と同条件の計算を行った．本モデルロータは，NACA 0012翼型を有する2枚の矩(く)形ブレードから成る．ホバリング条件は，翼端マッハ数が0.794，ブレードピッチ角が12°，翼端レイノルズが$3.55\times10^6$である．図3に本計算結果によるコード上圧力分布をスパン位置68，89％について示す．同図中，翼根側で前縁の負圧が過大評価される傾向にあるが，Caradonnaの実験値とおおむね良い一致を示している．

(2) AH-1G OLSロータ前進飛行時の非粘性計算

本ケースはAH-1Gヘリコプタの実機試験[6]に対応した条件での計算で，BVIが特に顕著となる場合である．また，前進飛行であるため，ブレード運動は回転のほか，ピッチング及びフラッピングを含む．OLSロータは，対称翼型を有する2枚の矩形ブレードから成る．ブレードは−10°のねじりを有する．前進飛行条件は翼端マッハ数が0.65，前進比が0.19である．本ケースでは，計算時間の短縮を目的に非粘性計算とした．図4に本計算結果によるスパン位置91％での圧力分布を，アジマス回転角$\Psi$＝90°，270°について示す．非定常性の強い本ケースにおいても，圧力分布が実験値とおおむね良い一致を示していることが分かる．

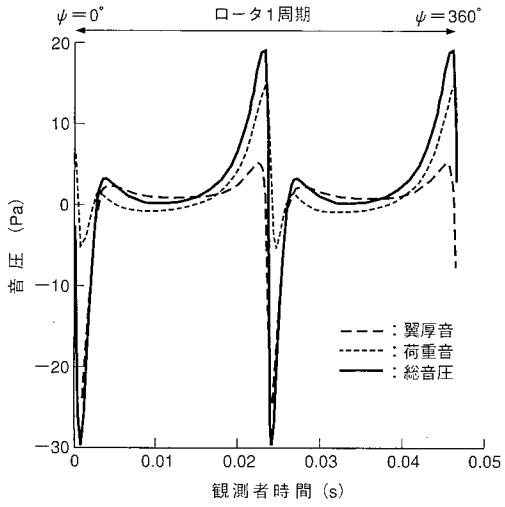



図5　ホバリング時の音圧履歴　ロータ回転面内の観測点において，翼厚音による負圧ピークと荷重音による正圧ピークが確認できる．
Sound pressure history in hover

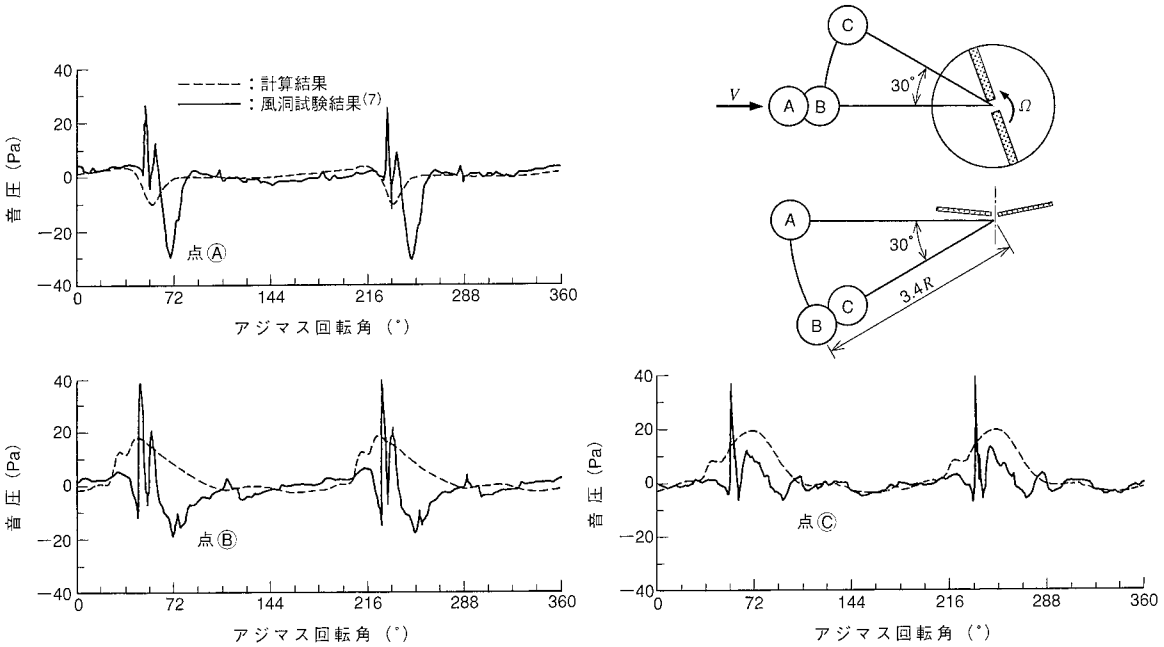



**図6　前進飛行時の音圧履歴**　ロータ回転面内では翼厚音による負圧ピークが，ロータ回転面から下方では荷重音による正圧変動が顕著となる．
Sound pressure history in forward flight

### 4．2　ロータ音場解析

音場解析コードの検証を目的に，以下に示す2ケースの計算を行った．

(1) UH-1ロータのホバリング時の空力騒音

UH-1ロータのホバリング時の非粘性空力解析を行い，この結果を用いてロータ回転面内での音圧計算を行った．UH-1ロータは，NACA 0012翼型を有する2枚の矩形ブレードから成る．ブレードは−10.9°のねじりを有する．ホバリング条件は，翼端マッハ数が0.73，ブレードピッチ角が15°である．音圧計算は，ロータ回転面内においてロータ中心から1.64 $R$（$R$：ロータ半径）の位置に対して行った．**図5**に本計算から得られた音圧履歴を示す．ロータ回転面内で顕著となる翼厚音による負圧ピークと，荷重音による正圧ピークが捕えられていることが確認できる．

(2) OLSロータの前進飛行時の空力騒音

本ケースはOLSロータの1/7スケール風洞試験[7]に対応した条件での計算で，BVIが特に顕著となる場合である．翼端マッハ数0.664，前進比0.164での前進飛行時の非粘性空力解析を行い，この結果を用いて風洞試験でのマイク位置に対応した以下の3点で音圧計算を行った．

- 点Ⓐ：ロータ回転面内，上流．ロータ中心から3.4 $R$.
- 点Ⓑ：点Ⓐから30°下方．ロータ中心から3.4 $R$.
- 点Ⓒ：点Ⓑから30°右舷(げん)．ロータ中心から3.4 $R$.

**図6**に各音圧計算点の位置と，各点で計算された音圧履歴を風洞試験結果と比較して示す．点Ⓐでの本計算による音圧履歴から，ロータ回転面内で顕著となる翼厚音による負圧が捕えられているのが分かる．点Ⓑ，Ⓒにおいては，風洞試験結果において見られるようなBVIに伴うスパイク状のピークは十分に捕えられていないものの，荷重音による正圧変動を捕えていることが確認できる．十分な音圧ピークを捕えるためには，空力解析コードの更なる精度向上を図り，BVI現象の計算解像度を上げる必要があると考えられる．

## 5．ま　と　め

ヘリコプタの空力騒音の低減を目的とした，ロータ空力騒音解析手法を開発した．本手法の構成要素である空力解析コードと音場解析コードについて，それぞれ検証計算を行った．

(1) 空力解析コードについては，サイクリック運動を含むロータ空力を良好な精度で推定できることが確認できた．

(2) 音場解析コードについては，ホバリング時及び前進飛行時の空力騒音を計算することにより，翼厚音及び荷重音を捕えることが可能であることが確認できた．

今後，空力解析コードの更なる精度向上により空力騒音の推定能力を高め，民間ヘリコプタの低騒音化設計へ適用する．

### 参　考　文　献


(1) Ahmad, J. et al., Helicopter Rotor Blade Computation in Unsteady Flows Using Moving Embedded Grids, AIAA Paper 94-1992

(2) Fujii, K., Unified Zonal Method on the Fortified Solution Algorithm, J. Comp. Phys., Vol.118 (1995) p.9

(3) Obayashi, S. et al., Improvements in Efficiency and Reliability for Navier-Stokes Computations Using the LU-ADI Factorization Algorithm, AIAA Paper 86-338

(4) Farassat, F. et al., "The Prediction of Helicopter Rotor Discrete Frequency Noise," Vertica Vol.7 No.4 (1983) p.309

(5) Caradonna, F. X. et al., "Experimental and Analytical Studies of a Model Helicopter Rotor in Hover," NASA TM-81232 (1981)

(6) Cross, J. L. et al., "Tip Aerodynamics and Acoustics Test," NASA RP-1179 (1988)

(7) Yung H. et al., "Aerodynamics and Acoustics of Rotor Blade-Vortex Interactions," J. Aircraft Vol.32 No.5 (1995) p.970

# 地震エネルギー吸収型ビル制振システムの開発

Development of Energy Absorption Type Structural Controlling System

技術本部　平井　潤[*1]　成瀬　誠[*1]
原田秀秋[*2]
広島製作所　藤城　学[*3]

大地震に対する建物の耐震補強デバイスとして，従来のパッシブ型のものより高性能で（設置台数が少なく），アクティブ型のものより省エネルギー（停電時対応）のものの開発が望まれる．本研究ではパッシブな制震力を任意に制御することにより，従来のアクティブ制震と同等の効果を発揮する制御コントローラの設計法とこれを実現するデバイスとしての可変摩擦ダンパから構成される制震システムを開発した．縮小模型実験と実機シミュレーションを通じて，本システムが大地震時の建物応答を1/2以下に低減することを確認し，また25 kineレベルの地震の入力エネルギーの8割近くを吸収できる見通しを得た．

In this study, a semi-active type structural control system was newly developed which is more effective than the usual passive type device and consumes much less power than the usual active device. This system consists of several variable friction dampers controlled by a specially designed LQ controller which decides the optimal friction force so as to reduce the seismic response of a structure for each second. Through the scaled-down model tests and numerical analysis, the performance of this system was confirmed to reduce the structural response to less than a half of that without control. It was also confirmed that this system absorbed much more seismic energy than the usual constant friction damper.

## 1. はじめに

先年の阪神大震災以来，特に国内において耐震技術に関する社会的関心が高まっている．この震災以前から国内外において開発されている耐震技術として，免震，様々な形式のダンパを用いたパッシブ方式[(1)(2)]や，アクチュエータを利用したアクティブ方式等があるが，費用，性能の面においていずれも十分なものとはいえない．また，停電時でも使えなくてはならない点も重要である．

これらの点を受けて，筆者らは，従来技術に代る新しい耐震技術として，エネルギー吸収制御制震システムを提唱した．これは，地震時の建物の揺れの動きに対して受動的に作用する摩擦力の大きさを，動きに応じて任意に制御することにより，アクチュエータのような大容量のデバイスを用いずに，従来のアクティブ制震と同等の制震効果を得られるものである．

本システムの開発経過において，その制震効果を実験・解析的に検証したので報告する．

## 2. エネルギー吸収制御制震ロジック

線形モデルの振動制御のアルゴリズムとして最も一般的なLQコントローラの設計を行うとき，その力特性は一般的に重み関数の形状で決定づけられる．すなわち，制御対象の振動の次数を何次まで考慮するか，各操作量の大きさのバランスをどうするか，状態量として取込んでいる各点の変位，速度のパラメータの取扱いのバランスをどのように取るか，といった項目を反映して，重み関数の形状はそれぞれ異なるが，最適制御力といわれるフィードバックゲインの解はその重み関数のパターンの数だけ複数存在し，制御力の特性も各々異なるものとなる．

試案として，次に示すような方針で決定した重み関数のパターンに基づいて設計したレギュレータを考える．

- 操作量は制震対象建物の各階層間に与える．
- 状態量は対象建物の1フロアを1質点に置換え，すべてのフロアを考慮した完全状態フィードバックとする．
- 各質点の速度応答に対して均等に重み付けを行い，変位の状態量に関しては重みを付けない．

上記に示されるコントローラ設計の条件は，概念的には建物の振動モデルの全振動モードによる動きに対して，その速度量に応じた制御力が発揮される，すなわち建物各階の構造減衰をみかけ上増やす意味を持っている．

この条件に基づいて，後述する縮小模型実験において用いた建物模型の5自由度等価せん断型解析モデルについてコントローラを設計し，地震外乱を与えた際の力の特性を解析的に求めた．

解析モデルの総重量は22 tf，1次の固有振動周期は1.0 sである．解析結果を図1に示す．

図中④がコントローラからの出力すなわち制御力であり，③が相対速度で示した制振時の応答，②には制振しない場合の同じ外乱に対する応答を参考として示した．注目したいのが⑤に示した，制振時の相対速度応答と制御力の各時刻歴における積が常に正である点である．ここでは相対速度の方向はデバイス設置点から見たその上部階相当の制御対象質点の速度，力は制御対象点がデバイスが常に仕事をされている．コントローラの力特性を示し，

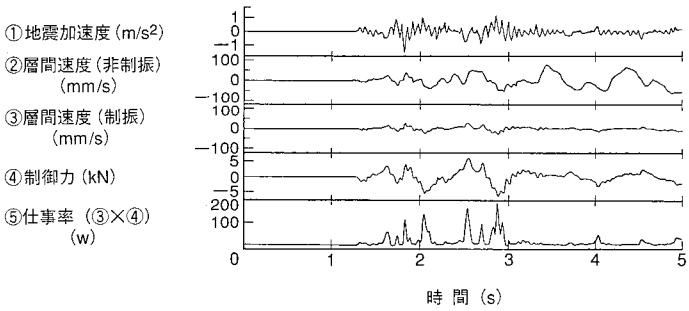



図1　エネルギー吸収制御制震ロジック
Energy absorbing structural control logic

*1 広島研究所鉄構・土木研究室
*2 広島研究所鉄構・土木研究室主務

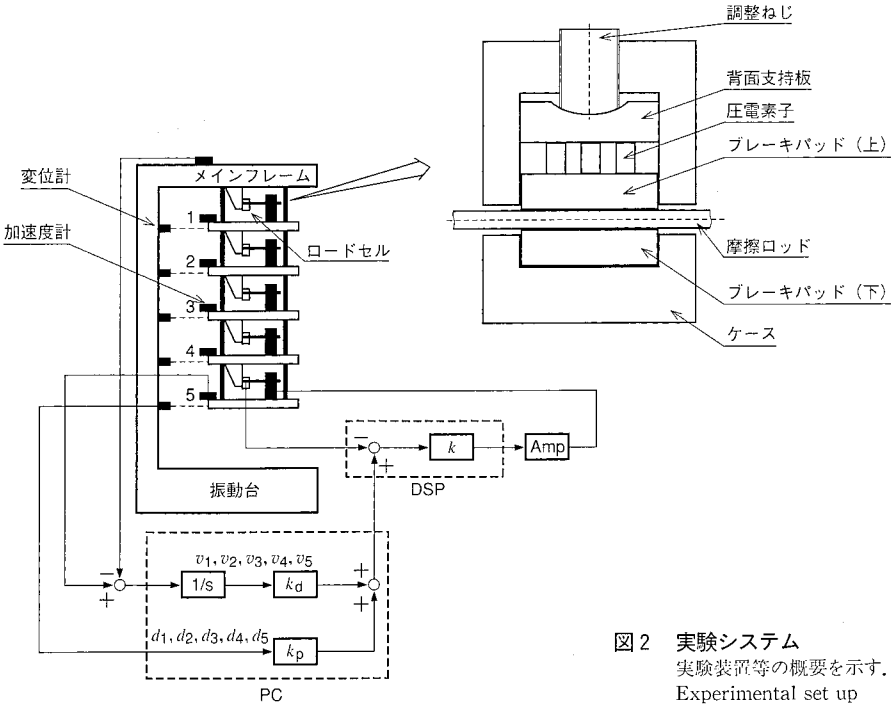



**図2　実験システム**
実験装置等の概要を示す．
Experimental set up

イスから受ける力という見方をしている．したがって，これが正ということはデバイス自体の各時刻の仕事率が負ということで，デバイスにおいて常に振動のエネルギーが吸収されていることを示している．このことから実際の制振デバイスにはアクチュエータとしての働きは必要なくなり，時々刻々その出力を任意に制御可能な受動力デバイスすなわちダンパがあれば，十分効果的な制震が可能であることを示している．

このような性質のコントローラを用いる制震方法を，エネルギー吸収制御制震ロジックと呼ぶこととした．

## 3．縮小模型実験

前章で示したエネルギー吸収制御制震ロジックの有効性を検証するために，縮小模型実験を行った．実験システム（図2参照）は，5層の建物模型の各階層間に，エネルギー吸収制御制震ロジックに基づいて作動する可変摩擦ダンパを配して，全体を振動台の上に載せたものである．以下に詳細を示す．

### 3．1　可変摩擦ダンパ

図2中に可変摩擦ダンパの詳細断面を示す．主な構成要素はケース，摩擦ロッド，一対のブレーキパッド，圧電素子，背面支持板，予圧調整ねじである．2枚のブレーキパッドのうち下側のパッドはケースに固定されている．その上に摩擦ロッドを配し，上側のパッドでロッドを挟んでいる．上側のパッドの反対側の面上に圧電素子が接着されており，素子の他端においてさらに背面支持板が接着されている．これら一体化した上部ブレーキパッド，圧電素子，背面支持板の動きは，ケースによってガイドされているため上下方向にのみ可能である．予圧調整ねじはケースにねじ込まれており，パッド及び摩擦ロッド間のすきまを埋め，あるいは予圧を掛けることにより，制御する前の初期摩擦力を調整することができる．圧電素子はメインコントローラからの電圧信号に従い，自長を任意に変えようとすることでパッドに対する押圧力を変化させ，これによってパッドと摩擦ロッドの間の摩擦力を可変にする．また図2に示すように，これらのダンパを制御システムの中で建物に適用する際，発生させた摩擦力はデバイスと建物の間でロードセルを用いて検出されたのちサーボ制御系の適用を受け，最終的にメインコントローラからの指令値に従わせることになる．サーボ制御系を用いて指令信号に対する追従性を実験的に検証した結果の一例を図3に示す．図3(a)は，ダンパを正弦波状に動かしつつ指令信号をステップ状に変化させた場合の荷重対変位の履歴を表記したものである．振動周期は1sの例である．リサージュの形状から分かるように各ステップの指令値に対して，出力はスティックスリップ，速度依存性などのない安定した特性を示している．図3(b)は，実験結果を力の指令値と出力の対比の形で整理したものである．出力と指令値の比はほぼ1.0に近く，指令値に対して追従性良く出力が得られていることが分かる．なおここでは割愛したが，同様の特性は振動周期0.3，0.2，0.1sにおいて得られることを確認している．

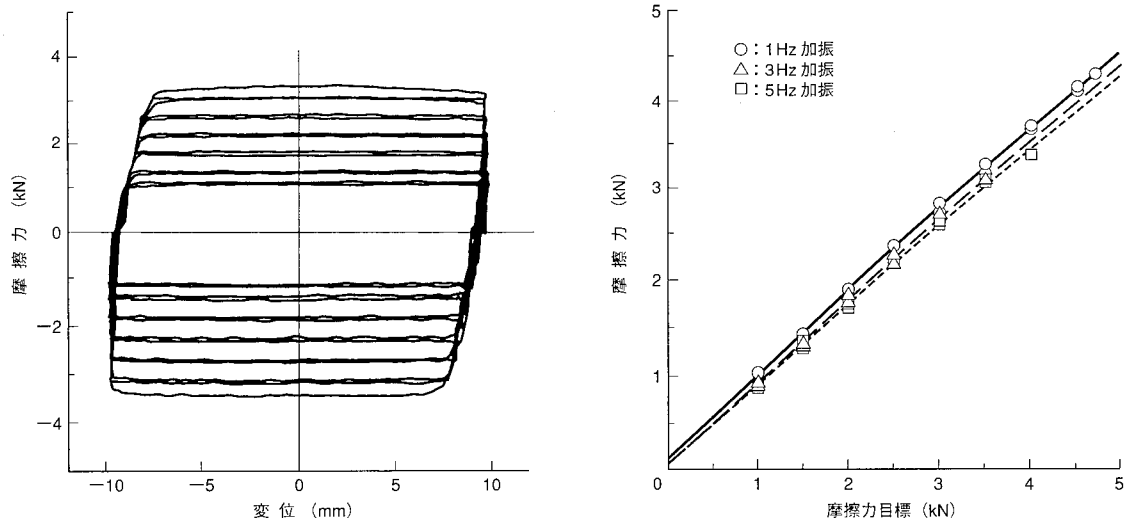
### 3．2　建物模型，実験システム

図2に示すように，建物模型は5層の鋼製マスを鋼棒で結合したもので，メインフレームから吊り下げられている．マス重量は各層4.4tfである．建物模型の1次固有周期は約1sで，メインフレームごと振動台上に設置され，振動実験が可能となっている．

制振システムは各層間に設けた5つの可変摩擦力ダンパと，摩擦力検出のため各ダンパとマス間に設置されたロードセル，メインフレームと各マス間の変位を計る変位計，各マス及びメインフレーム頂部の絶対加速度を検出する加速度計，LQコントローラを搭載したPC，及びサーボコントローラとして用いるDSPから構成される．LQコントローラのフィードバックゲインは前述の5自由度の等価せん断型モデルについて計算した．

### 3．3　実験結果

振動台上で地震波加振試験を行った．地震外乱としてエルセントロNS（標準的な地震波），八戸NS（長周期成分卓越波），兵庫県南部NS（短周期成分卓越波）の3種を用いた．表1に結果を示す．これは各地震外乱に対する層間の相対的な変位の最大値を制振，非制振の別に示し，その比を同時に表したものである．制振を行うことにより最大応答値は各層において1/2以下に低減していることが分かる．また，非制振時において最も大きな応答




(a) 履歴特性　　(b) 指令値－出力特性

**図3　ダンパ単体制御特性**　(a)は摩擦特有のきれいな方形の履歴を示す．(b)は，出力が指令値によく追従していることを示す．
Control property of variable friction damper

**表1　実験結果（層間変位計測値）**
Experimental result relative displacement between each floor

| | エルセントロ NS | | 八戸 NS | | 兵庫県南部 NS | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 非制震 | 制　震 | 非制震 | 制　震 | 非制震 | 制　震 |
| G-1 F | 6.4 | 2.8 (0.44) | 9.0 | 3.5 (0.39) | 7.7 | 3.4 (0.44) |
| 1-2 F | 6.1 | 2.9 (0.48) | 9.3 | 3.5 (0.38) | 6.4 | 3.4 (0.53) |
| 2-3 F | 5.2 | 2.6 (0.50) | 8.2 | 2.8 (0.34) | 5.3 | 3.0 (0.57) |
| 3-4 F | 9.2 | 4.6 (0.50) | 12.4 | 5.0 (0.40) | 15.0 | 6.5 (0.43) |
| 4-5 F | 6.4 | 2.8 (0.44) | 9.1 | 2.8 (0.31) | 13.0 | 3.9 (0.30) |

単位：cm　(　)内は低減率

を示す3F-4F間において制振による低減が著しいことは特記すべきである．

## 4. 実機デバイス

縮小模型実験により得た知見を受けて，設計，試作を終え，現在特性試験を実施中の可変摩擦ダンパの実機モデルの紹介と，実建物における制震性能のシミュレーション結果を示す．

### 4. 1　実機モデル構成・諸元

図4に実機モデルの概要を示す．装置は建物の上下フロアの梁(はり)と，両階をつなぐ2本の柱で囲まれる面内に設置される．上階から水平方向の剛性を確保して下向きに張出されたブレースの先端にスライド板を設けており，スライド板の端部が制動装置に組込まれており，地震時の建物のせん断変形に伴って生じる，上下階の相対的な変位をスライド板と制動装置との間に生じさせる構造である．制動装置部においてスライド板は焼結金属系のしゅう動材の間に挟まれており，前記のような相対的な変位が生じると両者の間で摩擦が生じる．しゅう動材は板ばねに取付けられており，スライド板を締付ける方向に従動可能である．スライド板とこれを挟み込んだ板ばねを通して固定のボールねじと，ナットを配し，ナットの回転，締付けをアームを介したサーボモータで行うことにより，スライド板としゅう動材の間の面圧を変えて，

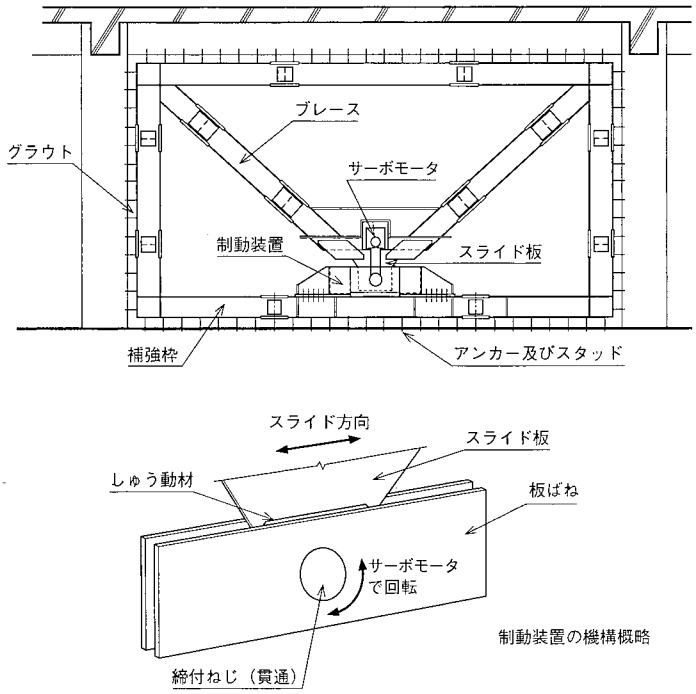
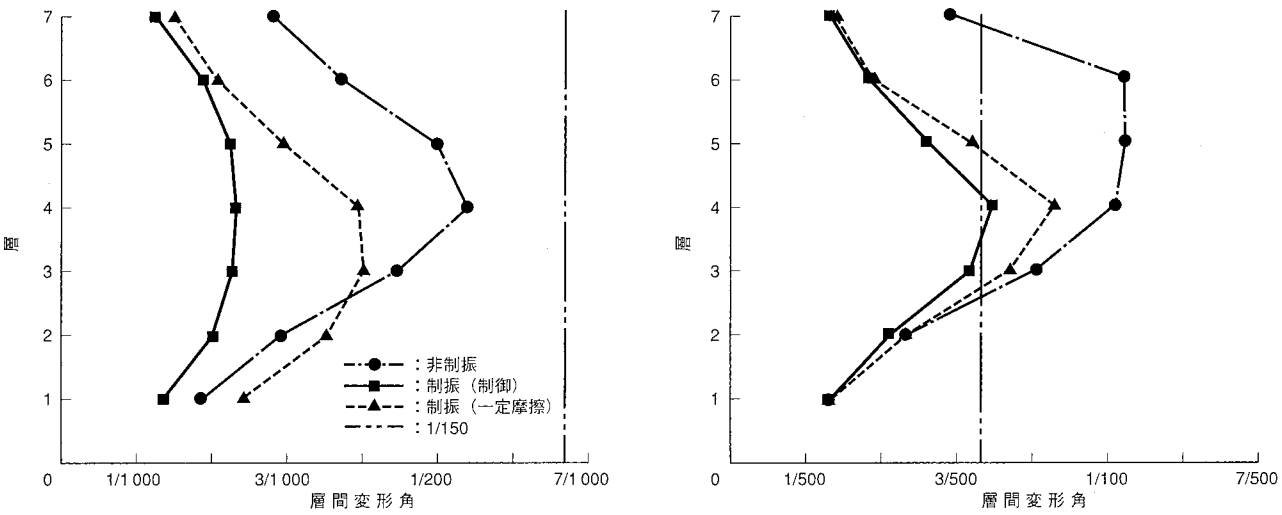



**図4　実機モデル概要**　実機モデルの構成を示す．
Outline of practical device model

しゅう動時に働く摩擦力を任意に変えることができる機構である．スライド板としゅう動材は硬質であり，またその組合せは多層になっているため，微少なナット送りに対して大きな摩擦力を得ることができる．定格出力で300 Wクラスのサーボモータを使用した場合，本機の摩擦力は0から200 tfの範囲で可変になる．

### 4. 2　実機制震効果シミュレーション

これまで概要を解説したシステムを実際の建物に適用した際の制震効果を解析的に求めた．解析に供した建物モデルは，RC造の中層建物を想定して作成した，塑性変形を考慮した等価せん断型のモデルである．諸元を表2に示す．制震デバイスモデルの力は，構造物の初期の弾性変形を与える剛性をモデル化してエネルギー吸収制御制震ロジックで設計したコントローラに従い，0から200




(a) エルセントロNS　25cm/s入力　　(b) エルセントロNS　50cm/s入力

**図5　実機制震効果解析**　建物の各層間の変形角を示す.
Computational simulation of effect on practical building

**表2　建物諸元**
Building model for simulation

| | |
|---|---|
| 階　数 | 7 |
| 構　造 | RC |
| 層間荷重—変形 | Tri-linear |
| 復元力特性 | 武田モデル[3] |
| 減衰定数 | 一律 $h=0.03$ |
| 固有振動数 | 短辺方向 1.375 Hz<br>長辺方向 1.517 Hz |

**表3　エネルギー吸収量解析結果**
Absorbed energy by control system

| | 25 kine | 50 kine |
|---|---|---|
| エネルギー吸収制御制震 | 78 % | 62 % |
| 一定力摩擦ダンパ | 43 % | 48 % |

エルセントロ NS 波の場合

tf の間を変化する．この力は，ブレース部の剛性（500 tf/cm）を考慮した直列のせん断ばねを介して，構造物の各層間に与えた．紹介する解析ケースは，建物短辺方向に作用する制震デバイスが各フロア 2 台づつ，長辺方向に各 1 台づつ，7 フロア間で計 21 台を設置した際の，エルセントロ NS 波を 25 及び 50 kine レベルで入力したときの短辺方向に関する結果であり，これを**図5**に示す．比較対照として従来の一般的なパッシブデバイスである一定力の摩擦ダンパを適用した場合を想定して，200 tf の摩擦力を変化させずに与えた場合の結果を併せて示している．エネルギー吸収制御制震を行うことで，一定摩擦力と比較して建物応答が大きく低減していることが分かる．

**表3**に構造物に対する地震の入力エネルギーに対する，制震デバイスで吸収されるエネルギー量の割合を示した．摩擦力の最適制御を行うことでエネルギーの吸収量が大きく増えていることが確認された．

## 5. ま　と　め

エネルギー吸収制御制震ロジックを提唱し，これに関する縮小模型実験，実機デバイス設計，実機効果シミュレーションを通じて以下の知見を得た．

- エネルギー吸収制御制震は地震波の周波数特性を選ばず，等しく効果を発揮する．
- 対象建物が塑性変形することにより，コントローラ設計時のモデルとの誤差が生じた場合でも，建物応答の最大値の低減効果は損なわれない．
- 従来技術の一定力摩擦ダンパと比較して，エネルギー吸収制御制震デバイスのエネルギー吸収量は倍近く得られる．

今後は本実機モデルの制御性確認試験を通じて，装置の改良と性能向上を図り，引続き設置台数のミニマム化等によるコストダウンを図る予定である．

### 参　考　文　献

(1) Hirai, J. et al., Study on the vibration control system for the earthquake applied to the boiler frame, Proceedings of First World Conference on Structural Control WP4 87-96
(2) Tsiatas, G. and Daly, K., Controlling vibrations with combination viscous/friction mechanism, Proceedings of First World Conference on Structural Control WP4 3-11
(3) Takeda, Sozen and Nielsen, Reinforced concrete response to simulated earthquakes, Jour., Structural Division ASCE 96 No.ST 12 p.2 557～2 573

# 低騒音・低振動渦巻式圧縮機

鉄道車両では，安全に停止させるためのブレーキ制御及び乗心地を良くするための空気ばね等に圧縮空気を使用しており，そのための空気圧縮機を搭載している．

近年，鉄道車両の室内環境向上の面から，空気圧縮機の低騒音・低振動が求められるようになってきた．

当社三原製作所では，従来から鉄道車両用にレシプロ式圧縮機を製作してきたが，上述の要求にこたえて，永年の車両用ブレーキ部品製作技術と当社保有の精密機械加工技術により，新たに回転式の渦巻式圧縮機を開発した．

以下に，その概要を紹介する．

## 1．概　　要

外観を図1に，圧縮原理を図2に，基本仕様を表1に示す．

## 2．特　　長

(1) 吸入，圧縮，吐出行程が同時に進行するのでトルク変動，騒音，振動が小さい．

(2) 圧縮室間の差圧が小さく空気漏えい量が少ないので，体積効率が高い．

(3) 旋回公転運動するためしゅう動部の相対速度が小さく，機械損失が小さい．

(4) 渦巻式圧縮機としては，エアコン等に使用のものより容量が大で大型である．

表1　基本仕様

| | 渦巻式（開発品） | レシプロ式（従来品） |
|---|---|---|
| 形　式 | RC 1500 | C 2000 L |
| 圧縮方式 | 1段圧縮<br>回転式<br>渦巻式 | 2段圧縮<br>単動<br>往復式 |
| 送り出し空気体積 | 1 090 N$l$/min | 1 401 N$l$/min |
| 送り出し空気圧力 | 9.0 kgf/cm$^2$ | 9.0 kgf/cm$^2$ |
| 定格回転数 | 1 750 rpm | 1 160 rpm |
| 定格時間 | 連続 | 30 min |
| 潤滑油 | ロータリーコンプレッサ専用油 | レシプロコンプレッサ専用油 |
| 騒音（機側 1.5 m） | 68 dB | 76 dB |
| 振動伝達力（定格時） | ±2 kgf | ±10 kgf |

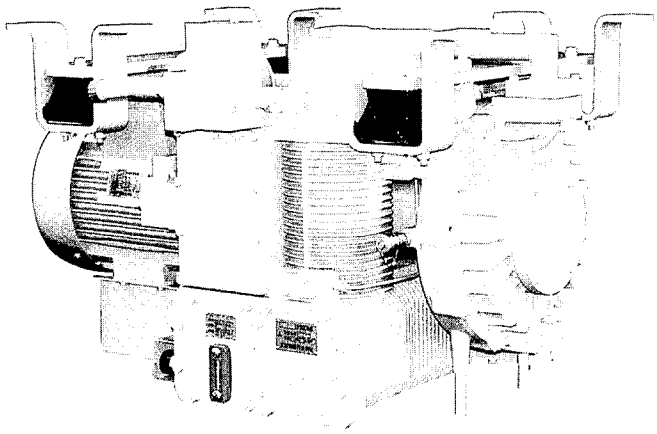


図1　外　観

## 3．圧縮方式の原理

渦巻曲線で形成された渦巻体を180°ずらした状態でかみ合せ，両渦巻体により仕切られた空間の容積変化で圧縮が行われる．

すなわち，固定・旋回渦巻体の二つの渦巻線で作る三日月形の渦巻圧縮室が，旋回渦巻体の旋回公転運動に伴い次第に狭められて圧縮されるとともに，連続的に変移し，圧縮空気を送り出す．要所の吐出圧力は，次々に送り出される空気により一段で得られる．空気は連続的に送り出されるので，レシプロのような脈動はほとんどなく，静粛である．

空気を圧縮すると高温を発生する．そこで，潤滑とシールを兼ねた潤滑油を渦巻圧縮室に送込み，冷却することにより，等温圧縮に近付け，圧縮動力の増加を抑えている．

固定渦巻体と旋回渦巻体の渦巻線は，接触しない構造となっており，その微小すきまを潤滑油によりシールしている．

固定渦巻体と旋回渦巻体は，渦巻線外周部のスラスト軸受部で接している．旋回公転運動によるしゅう動速度はレシプロ式のピストンと比較して小さくなっており面圧も低いので，摩耗の少ない構造となっている．

（三製　機械・プラント技術部空制装置設計課　勢登，西村
☎ (0848) 67-2460）
本社営業窓口　機械事業本部交通・電子機器部車両課
☎ (03) 3212-9606

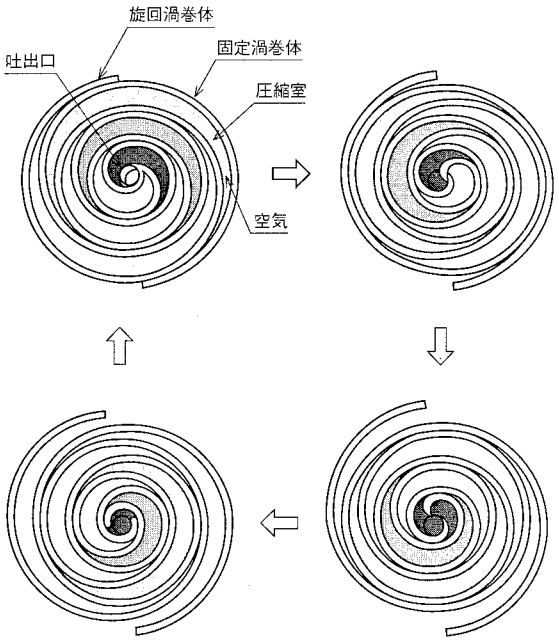



図2　圧縮原理

# 香港APM車両用空調装置

当社は，空調，冷凍・冷蔵及び応用冷熱製品を広く製造している総合冷熱メーカであるが，列車空調の分野には未参入であった．

この度，香港新空港向けAPM（Automated People Mover）車両用空調装置を開発したので，その概要について紹介する．

## 1．システムの概要

1車両のシステムは，室内機2台，室外機1台，制御盤1台で構成された冷房専用システムで，冷媒回路は独立2系統である．

主要諸元を表1に，車載状態の室外機を図1に示す．

## 2．特　　長

### 2．1　機器配置

国内の通勤電車などには，架装性等により屋根置一体形が多く採用されている．しかし香港APM車両はトンネル内走行のため車高が制限されるので，室外機を床下に設置し室内機を車両天井の両端部に埋込んだセパレートタイプとした．制御装置は車内壁内に収納した．

表1　香港APM車両用空調装置仕様（1車両分）

| 項目 | | 仕様 |
|---|---|---|
| 方式 | | セパレート形冷房専用機 |
| 電源 | | 主回路　3相AC 220 V　+10％ −15％<br>制御回路　単相AC 100 V　+10％ −15％<br>操作回路　DC 100 V　±10％ |
| 冷房能力 | | 23.0 kW（注参照） |
| 循環風量 | | 50 m³/min |
| 換気風量 | | 12 m³/min |
| 室内機 | 熱交換器 | 245×1 450×622 mm×2個 |
| | 送風機 | 両吸込多翼遠心ファン×8個<br>両軸モータ（出力0.135 kW）×4個 |
| | 冷媒制御 | キャピラリチューブ |
| | 重量 | 61 kgf×2台 |
| 室外機 | 圧縮機 | 密閉スクロールタイプ<br>3.45 kW×2台 |
| | 熱交換器 | 760×1 740×514 mm |
| | 送風機 | 軸流ファン×2個<br>片軸モータ（出力0.5 kW）×2個 |
| | 重量 | 255 kgf |
| 制御盤 | 制御機器 | シーケンサ |
| | 重量 | 11 kgf |
| エアフィルタ | | 集じん効率90％以上（EU規格品） |

（注）冷房能力は下記の空気条件での値である．
車内：温度　24℃　湿度　60％
車外：温度　40℃　湿度　40％

### 2．2　冷房能力

高温，多湿の雰囲気で使用され，乗客数が多く，換気風量が多いことを考慮して，同クラスの車両用に対し冷房能力を1.3倍にアップさせた．

### 2．3　電　　源

車両電源に合せて，主回路は3相AC 220 V，制御回路は単相AC 100 V，操作回路はDC 100 Vの三電源方式を採用した．電気機器は車両用として要求される電圧変動，瞬時停電への対応を考慮した．

### 2．4　主要機器

圧縮機，熱交換器，送風機等の主要機器は，業務用空調機をベースに耐振動性，耐衝撃性の向上を図った．

### 2．5　制御・操作

空調装置は，温度センサ，圧力スイッチ等の情報を基に制御盤に設けたシーケンサの制御プログラムにより車内を最適な状態にコントロールする．

APM車両は無人運転であり，空調機の操作，モニタは管制室で行えるようにしている．また，制御盤にも操作スイッチを設け，検修庫等での作業時も空調装置の運転ができるようにした．

### 2．6　規　　格

使用する材料は，香港の車両に適用される英国規格に適合するものを選定した．エアフィルタは，集じん効率90％以上のEU規格品を採用した．

（エア製　技術部バスエアコングループ主務　小林
☎（052）503-9212）
本社営業窓口　冷熱事業本部冷熱直販部車両空調機課
☎（03）3212-3111

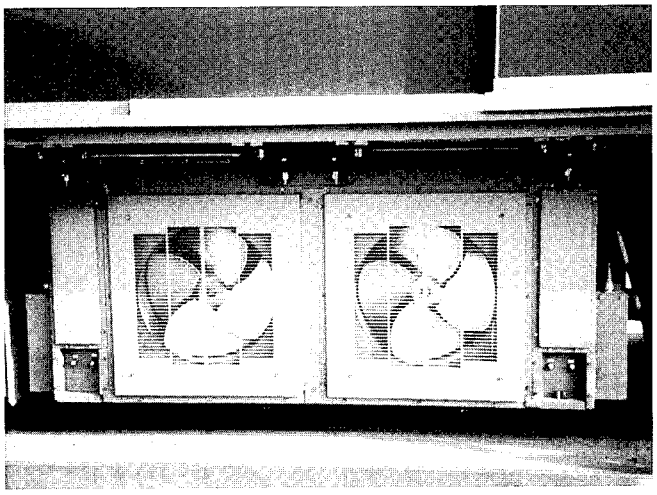


図1　室外機

# 車両動荷重計測装置

高速道路が供用35年を経過し，既設鋼橋の劣化に伴い，補強工事による耐荷力の向上や，過積載車両の規制強化等の対策が図られているが，さらに今後の予防・保全的な対応として，老朽橋梁(りょう)の荷重実体を長期間連続計測する必要が生じてきた．

このほど当社では，ピエゾ素子の圧電効果を利用した軸重センサを使用し，安価でかつ短期間で施工が可能な，“車両動荷重計測装置”を開発したので概要を紹介する．

## 1．構　　成

車両動荷重計測装置は，通過する車両の動荷重を計測するとともに車種判別可能なシステムで，路面に車両を検出する“ループセンサ”，軸重を検出する“ピエゾセンサ”，軸重校正用“温度センサ“を埋設し，路肩に制御装置を設置する（**図1**参照）．

## 2．仕　　様

車両動荷重計測装置の仕様を**表1**に示す．

## 3．特　　長

(1) ピエゾセンサの摘要

動荷重計測センサとして，国内で初めてピエゾセンサを利用し，他のセンサとの容積比が実に1/100という小型化を実現するとともに，路面温度補償を始め各種信号処理によりほぼ同等の計測精度を実現した．

なお，ピエゾセンサは車両の通行によって生じるアスファルト道路の変形（わだち掘れ）に柔軟に追従変形し，長期間の利用に耐え得るとともに，既に10 mm以下のわだち掘れが発生している道路においても施工が可能である．

(2) 施設工事期間の短縮

センサの小型化（ピエゾ）と特殊充てん材（グラウト）により交通規制を伴う道路上の施工期間は8時間/レーン（夜間車線規制のみ）と，従来システムの約10倍のスピードアップを実現するとともに，重機不要の施工で施工時の安全性向上と施工費用の低減を可能とした．

(3) 長期自動計測の実現

路肩に設置された制御装置は，空調付き防じん・防滴構造の全天候型の筐(きょう)体に格納され，無停電電源装置を内蔵し不慮の事故にも対応するとともに，約1 500万台分の動荷重データを連続して計測・記録することが可能である．

(4) 保守管理の簡便化

車両動荷重計測結果は，公衆電話回線を利用して管理センタ内のホスト計算機に自動送信が可能で，かつ計測装置の作動状況モニタあるいは時刻等の校正が遠隔地からリモートで実施でき，保守管理の簡便化を図っている．

## 4．成果・今後の展開

本装置は，平成8年度に日本道路公団の千葉県京葉道路宮野木ジャンクション付近に設置し，順調にデータを取得中である．

今後は橋梁の応力計測との組合せによる，道路・橋梁等の構造物維持管理システムあるいは車高検出装置及びナンバプレート認識装置等との連接による過積載違反車両の取締り・排出システムとして，受注拡大を図る．

名誘　誘導・電子機器部ソフトウェア設計課主務　大川
☎ (0568) 79-2119
中菱エンジニアリング
電技総括部誘導ソフトウェア設計室　山田
☎ (0568) 74-0481
本社営業窓口　航空機・特車事業本部新事業課
☎ (03) 3212-9566

表1　仕　様

| 項　目 | | 仕　様 |
|---|---|---|
| 計測制御装置 | 外形寸法 | $H$ 1 400×$W$ 966×$L$ 711 mm |
| | 使用電源 | 100 V/15 A |
| | 計測精度 | ±10～18 % |
| | 計測条件 | 30～120 km/h |
| | 処理能力 | 5万台/日以上 |
| | 記録容量 | 1 500万台 |
| | 使用環境 | 温度：−10～40℃　湿度：20～95 % |
| | 重　量 | 250 kgf |
| 軸重計（ピエゾ） | 外　形 | $W$ 38×$H$ 25×$L$ 3 600 mm |
| | 重　量 | 5 kgf |
| | 設置溝 | $W$ 45×$H$ 40×$L$ 3 700 mm |
| | 最大荷重 | 22 tf |
| ループセンサ | 設置溝平面 | 1 800×1 800 mm |
| | 設置溝断面 | $W$ 10×$H$ 40 mm |
| | 本　数 | 2/レーン |

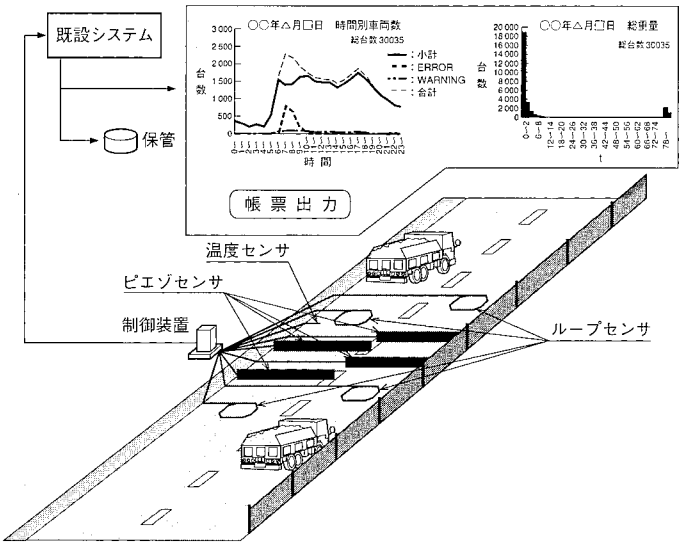



図1　システム構成

# 道路三次元形状測定システム

道路舗装業者向けに，名古屋誘導推進システム製作所では，わだち掘れ，平たん性，ひび割れ等の路面性状を自動計測・解析する路面性状測定装置を開発し，販売している．

この度，道路の三次元形状を測定するシステムを開発したのでここに概要を紹介する．

## 1. 概　　要

本システムは，車両に装備した道路の横断面形状を測定する装置と車両の自己位置を測定する慣性装置の組合せにより，道路三次元形状測定を行うものである．

また，レーンマーク（白線）上の測量データを入力することにより，切削／オーバレイ計画を可能とする精度を得ることができる．

表1に主要諸元，図1にシステム構成，図2に出力例を示す．

表1　主要諸元

| 項　目 | | 主要諸元 |
|---|---|---|
| 主計測装置 | 横断面測定 | レーンマーク（白線）を基準とした横断面形状測定装置 |
| | 自己位置測定 | 慣性装置 |
| 計測幅員 | | 3.8 m |
| 計測速度 | | 0 ～80 km/h |
| 計測精度 | | ± 5 mm（1σ）<br>（測定データを 50 m ごとに入力時） |

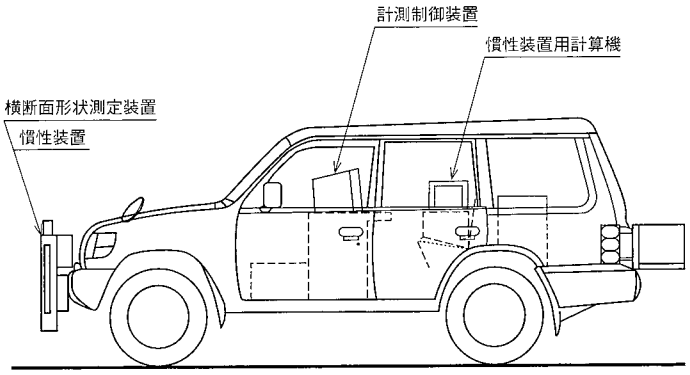



図1　システム構成

## 2. 特　　長

### 2. 1 省力化・高機動性

従来，道路の三次元形状の測定は道路の縦断面と横断面の測量データの解析等により行われてきた．本システムは，計測車を走行させることにより道路三次元形状の測定が可能であり，省力化と高機動性を実現した．

### 2. 2 高 精 度

計測速度，車両静止時の重力加速度等のデータで慣性装置の出力データを補正することにより，高精度測定を実現した．

### 2. 3 そ の 他

販売中の路面性状測定装置に慣性装置及び計算機を搭載した場合には，わだち掘れ，平たん性，ひび割れの3要素に加え，道路三次元形状の同時測定が可能となる．

## 3. 今後の展開

今後，道路の維持修繕作業の中で，道路の切削／オーバレイ計画，段差量の測定，横断こう配～曲線半径の測定等に利用して頂けるよう展開していく．

（名誘　誘導・電子機器部管理課主査　堤
☎（0568）79-1926）
本社営業窓口　機械事業本部交通・電子機器部エレクトロニクス課
☎（03）3212-9180

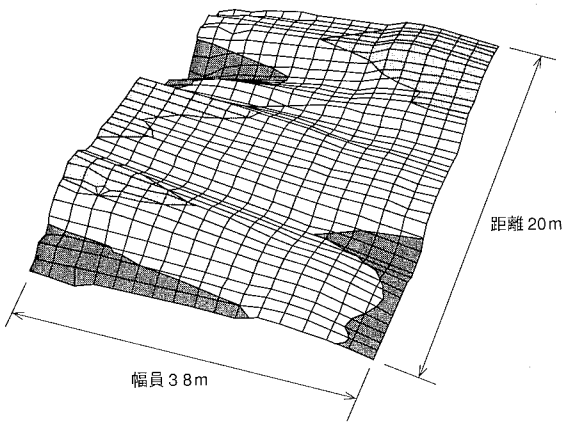



図2　出力例（クロスカントリー路）

# 自動車用ECU（フロントECU）

乗用車のエレクトロニクス装備品が増大，多様化する中で，装備品相互を接続するワイヤハーネスが複雑，多種多様となってきているため，各自動車メーカでは車内のワイヤハーネスの簡素化によるコストダウンを目指して，情報のシリアル通信化（LAN化）とこれに対応できるECU（Electronic Control Unit）の開発を推進中である．

このようなニーズの中，名古屋誘導推進システム製作所は，三菱自動車工業(株)と共同でフロントECUの開発を行った．このECUは，耐環境HIC（Hybrid Integral Circuit）技術を車載ECUへ適用することにより，搭載環境として極めて厳しいエンジンルーム内でも搭載可能としたものである．

以下に，本製品の概要を説明する．

## 1．構　　成

フロントECUの構成を図1に，外観を図2に示す．

フロントECUは，ヘッドランプ，テールランプ，フロントワイパモータ，フロントウォッシャモータ等，計7種の負荷を駆動させるリレーとシリアルデータバスの信号に従ってリレーを制御する電子回路で構成している．

## 2．仕　　様

フロントECUの主な機能・性能諸元を表1に示す．

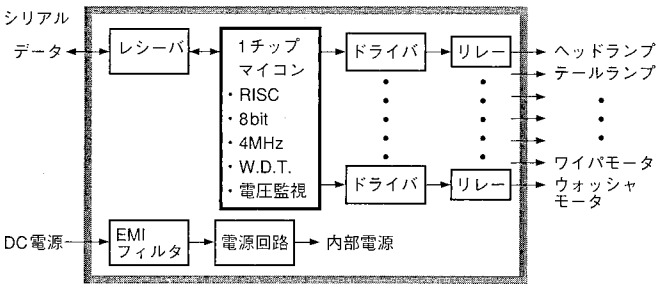



図1　構　成

図2　外　観

## 3．特　　長

フロントECUは，エンジンルーム内に搭載される車載電装品であり，低コストかつ高品質が要求される．耐熱性（125℃），低コスト化及び高品質化を両立するために実施した主要技術ポイントを以下に示す．

(1) 耐環境性

フロントECUに要求される耐環境性の中でも，特に注視すべき性能は，高温（110℃）作動耐久性，耐ヒートサイクル性，耐湿性等，長期運用時の信頼性である．

まず，高温作動耐久性向上のため，回路定数の最適化による回路全体の低消費電力化，及び導体パターン厚付けによるジュール熱，熱抵抗の低減等を図っている．

また，耐ヒートサイクル性向上には，プリント基板で問題とされるスルーホール抜けの対策や，小型表面実装部品の採用による電子部品の熱応力緩和の対策などを施すとともに，耐ヒートサイクル性はんだ材の採用により，はんだクラック対策等を実施している．

耐湿性については，低マイグレーション基板の採用や低残渣(さ)無洗浄はんだフラックス，及びコーティング処理により実現している．

(2) 低コスト化と高品質化

(1)項の耐環境性を低コストで実現するため，耐熱樹脂基板の採用や使用電子部品の共通化等により材料費のコストダウンを図るとともに，製造工程を簡略化かつ自動化可能とする構造を採用することで製造コストの削減と品質向上を実現している．

（名誘　誘導・電子機器部電子設計二課　後東，石井
☎（0568）79-2447）
本社営業窓口　機械事業本部交通・電子機器部エレクトロニクス課
☎（03）3212-9616

表1　機能・性能諸元

| 項　目 | 性　能 |
|---|---|
| 基本機能・性能 | |
| 通信仕様 | ビットレート：5 kbps |
| | 伝送方式　：バイフェイズ方式 |
| | エラー検出　：CRCチェック |
| 制御対象 | ヘッドランプ，テールランプ，フロントワイパ |
| | フロントワイパウォッシャ，ヘッドランプウォッシャ |
| 動作電源 | 8～16 V |
| 暗電流 | 0.1 mA 以下 |
| 外観寸法　(mm) | 55×90×$H$ 55 |
| 環境性能 | |
| 動作周囲温度 | −40～+110℃ |
| 高温作動耐久性 | 110℃，1 500 h 以上 |
| 耐ヒートサイクル性 | 1 000 サイクル以上（−40℃ ⇔ 125℃） |
| 耐湿性 | 95 % |
| EMC | 100 V/m 以上 |
| 過渡電圧 | 電源系統：+100 V/−120 V |
| | 信号系統：+40 V/−60 V |

# トンネル検査装置

トンネル検査として，定期的に検査員がトンネル内を歩行しながら目視によりひび割れや漏水を，打音によりはく離を調査している．調査結果は手書きの変状展開図としてまとめていた．

しかしながら近年，新線建設に伴うトンネルの延伸や，既設トンネルの老朽化，さらに熟練検査員の減少が進むにつれて，以下の問題点がクローズアップさてきた．

●全表面にわたる打音（はく離）検査が困難

●検査時間，人手が不足

上記の問題点を解決するために当社では，帝都高速度交通営団と共同で自走式のトンネル検査装置を開発したのでここに概要を紹介する．

## 1．概　　要

トンネル検査装置（以下，本装置と称す）は走行しながらトンネル壁面を強制加熱し，壁面の可視画像及び赤外線画像を取得する．得られたデータにオフラインで画像処理を実施して，表1に示す各種劣化・変状を自動検出し，データ解析結果を変状展開図として自動出力する．

本装置を図1に，データ解析装置を図2に示す．

## 2．仕　　様

トンネル検査装置の仕様を表1に示す．

## 3．特　　長

(1) 壁面内部のはく離を漏れなく検出

本装置は壁面を強制加熱後，赤外線カメラで撮影し，正常部より表面温度の高くなるはく離部分を検出する．打音ではポイントでしか検出できなかったはく離の検査が，漏れなくトンネル全表面にわたり検査可能となった．

(2) 自走式自動検査装置による省人化

本装置は自走式かつ自動検査システムなので検査員は検査車両運転手を含めて2人での運用が可能であり，従来3～4人を要したことに比べて省人化が可能となった．

(3) 画像処理による変状展開図自動作成

従来，変状展開図は目視打音検査に基づいて人手で作成していたが，この作図に多大の労力が掛かっていた．本装置では，取得した画像データをデータ解析装置で画像処理にかけることにより変状展開図を自動的に作成できる．

(4) トンネル壁面検査データベース

本装置は取得した可視画像，赤外線画像及び解析結果として変状展開図，各種統計データをデータベースとしてディジタル記録するので，検査データの維持，管理が容易になり，同時に時系列的に変状の進行度合いを把握することが可能である．

また，本データベースはパソコンベースなので非常にはん用性が高く，他のデータベースとの連接が容易である．

（名誉　誘導・電子機器部飛昇体設計二課　世良
☎ (0568) 79-3018）
本社営業窓口　航空機・特車事業本部新事業課
☎ (03) 3212-9566

表1　仕　様

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| 検査速度 | 4 km/h |
| 検査幅 | 2 m |
| 検出はく離厚さ | 1 cm（検査速度 1 km/h）<br>5 mm（検査速度 4 km/h） |
| 検出ひび割れ幅 | 1 mm |
| 検出劣化・変状種別 | ひび割れ，はく離，漏水<br>遊離石灰，汚損など |

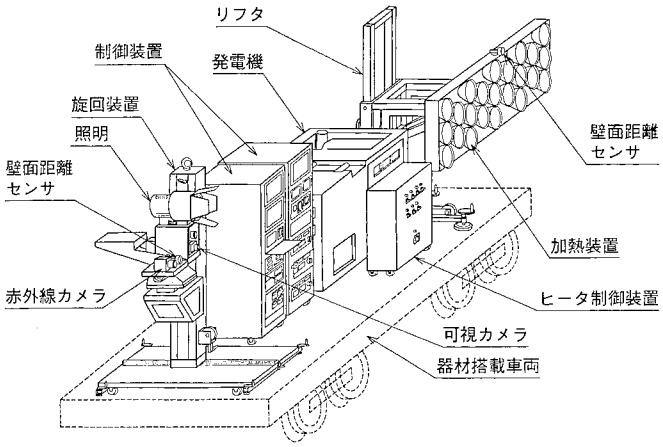



図1　トンネル検査装置

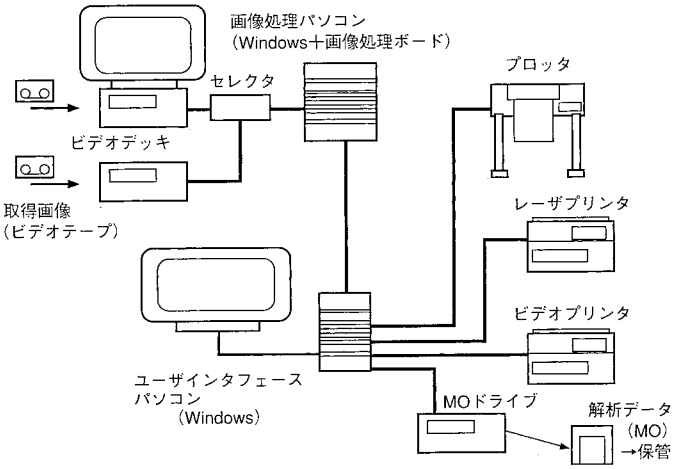



図2　データ解析装置

## 次　号　予　定

〔Vol.35　No. 1（原動機特集）平成10年1月発行〕

**巻頭言**

○原動機特集の発刊に際して

**技術論文**

○最新鋭1500℃級ガスタービンの開発・運転状況
○3000 RPM 48インチ低圧タービン翼の開発
○電源開発(株)松浦2号機1000 MW超々臨界圧タービンの設計と運転実績
○東北電力(株)原町1号1000 MW垂直管火炉型ボイラの特徴と運転実績
○三菱低揮発分炭だき新低NOx CUFボイラの開発と実用化
○多炭種対応新制御技術の開発
○ボイラ炉壁管自動検査システム（M-MAUS）の開発
○粗悪油燃料超低過剰空気燃焼技術の開発
○重質燃料適応エンジンの基礎研究
○21世紀の高効率発電技術―燃料電池複合発電技術の開発―
○噴流床石炭ガス化炉のスケールアップ
○加圧流動床（PFBC）複合発電プラントの開発
○三菱重工の太陽光発電システムの特徴
○水素利用国際クリーンエネルギーシステム(WE-NET)用主機の開発
○液体空気利用発電装置の開発
○飲料缶ぶたの巻締め加工解析技術
○圧延機用長ストロークシリンダの制御法
○圧延ロールのサーマルクラウン推定モデルの開発

**設備・製品紹介**

○チリにおける火力プラント建設への取組み
○大容量ロータ高速バランス設備向け駆動装置
○米国TRICO社向けコンパクトホットストリップミル

**三菱重工技報編集委員会**

| | |
|---|---|
| 委員長 | 田中重穂 |
| 副委員長 | 浦上紘一 |
| 委員 | 樋口周嘉 |
| 同上 | 常吉紀久士 |
| 同上 | 曽田正浩 |
| 同上 | 竹田頼正 |
| 同上 | 柘植綾夫 |
| 同上 | 柳謙一 |
| 同上 | 湯原哲夫 |
| 同上 | 須藤勝蔵 |
| 同上 | 荒川治彦 |
| 同上 | 村越克己 |
| 同上 | 田中豊 |
| 同上 | 浦川智志 |
| 同上 | 久留正敏 |
| 同上 | 脇正鋭 |
| 同上 | 谷宏治 |
| 同上 | 牧野哲夫 |
| 同上 | 小川良雄 |
| 同上 | 杉村純 |
| 同上 | 木村源次郎 |
| 同上 | 比原幸夫 |
| 幹事 | 比原幸夫 |
| 特集編集責任者 | 畝田隆司 |
| 同上 | 石橋明 |


**三菱重工技報**

**第34巻　第6号**（通巻203号）

平成9年11月25日　印刷
平成9年11月30日　発行
（隔月発行）

――禁無断転載――

定価　1部500円（送料別）
（本体476円）

発行人　大木良典

発行所　三菱重工業株式会社
（技術管理部技術管理課）
〒220-84　横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
電話（045）224-9050

編集所　菱日エンジニアリング株式会社
（みなとみらい事業所技術情報部）
〒220-84　横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号

印刷所　凸版印刷株式会社
〒110　東京都台東区台東一丁目5番1号

発売元　株式会社オーム社
〒101　東京都千代田区神田錦町三丁目1番
電話(03)3233-0641（代）振替 東京(20018)

© by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

題名末尾の（　）内は英文技報の巻-号及びMTB（Mitsubishi Technical Bulletin）のNo.を示す.

## 巻頭言，技術展望，技術論文・報告

### ◆第1号（通巻198号）原動機特集

#### 特集　巻頭言，技術論文


技術開発の国際的視点（巻頭言）……戸田浩道　1

石炭ガス化実証炉の開発……古屋孝明 ほか　2

蒸気タービン車室の三次元構造解析システムの開発と設計への適用……大谷幸広 ほか　6

インテグラルシュラウド翼の振動特性予測精度の向上……金子康智 ほか　10

回収ボイラの炉内脱硝技術による低NOx化……日野裕一 ほか　14

145 MW微粉炭だき発電設備……中村　隆 ほか　18

液体空気利用ガスタービン吸気冷却システムによる出力向上（英文34-3）……江尻和夫 ほか　22

火力発電プラント制御装置DIASYS-UP/V（英文34-3）……高倉朋子 ほか　26

地球温暖化防止と再生エネルギー利用発電技術（英文34-3）……久留正敏 ほか　30

大型風力タービンMWT-450の開発……渡部洋八郎 ほか　34

円筒型固体電解質型燃料電池の開発……久留長生 ほか　38

電力貯蔵用超伝導フライホイールの要素開発研究……南　正晴 ほか　42


#### 一般　技術論文


LNG煙突用新耐食鋼の開発（MTB 203）……江原隆一郎 ほか　46

コンテナクレーンのガーダ制振装置の開発（英文34-3）……内田浩二 ほか　50

帯鋼搬送用低慣性ロールの開発……川水　努 ほか　54

都市ごみ廃プラスチック油化プロセスの開発……桜田秀夫 ほか　58


### ◆第2号（通巻199号）産業機械特集

#### 特集　巻頭言，技術論文・報告


産業機械特集の発刊に際して（巻頭言）……平田博美　71

三菱電子印刷の開発（英文34-3）……島田仁章 ほか　72

三菱電子印刷における高速・高精細光書込み装置の開発……池田弘昭 ほか　76

三菱電子印刷用液体トナーの開発……須田康晴 ほか　80

高速枚葉印刷機DAIYA 3Hの開発（英文34-3）……藤本信一 ほか　84

抄紙機リールの性能向上化……三小田 収 ほか　88

高精度段ボールシート打抜き機の開発 ……馬場康之 ほか 92
押出成形における樹脂劣化防止技術（英文 34-3）……米谷秀雄 ほか 96
長繊維強化樹脂の射出成形用スクリュの開発 ……戸田直樹 ほか 100
PET ボトル無菌充てんシステムにおける殺菌技術の研究 ……北田卓也 ほか 104
三菱 NC ガイド式ギヤシェーパの開発 ……酒井昌夫 ほか 108
三菱ミーリングセンタ用パソコン NC の開発 ……松村昭彦 ほか 112

**一般　技術論文・報告**

新種ボイラ用鋼管材（HCM2S 及び HCM12A）の実機実証試験 ……駒井伸好 ほか 116
レーザ光音響分光法（LPAS）による分析装置の開発 ……上田泰稔 ほか 120
高速ビレット・ビームブランク連鋳機の開発 ……中嶋　宏 ほか 124
ALFLEX の航法誘導制御システムの開発（英文 34-3）……浅井　滋 ほか 128
路面性状測定車の開発 ……小沼　浩 ほか 132

**◆第 3 号（通巻 200 号）環境保全特集**

**特集　巻頭言，技術展望，技術論文**

環境保全特集の発刊に際して（巻頭言）……伊藤俊明 149
三菱重工の環境技術（技術展望）（英文 35-1）……日下部和彦 150
海水利用排煙脱硫装置排水の生物処理技術の開発 ……中村　宏 ほか 154
石炭火力用高性能排煙処理システムにおける低低温 EP 技術の開発 ……大西召一 ほか 158
熱分解溶融ごみ処理システムの開発 ……保田静生 ほか 162
廃棄物処理用流動層燃焼技術 ……奥野　敏 ほか 166
廃プラスチック油化プロセスの開発 ……桜田秀夫 ほか 170
都市ごみ焼却プラントにおけるダイオキシン類の低減化 ……志田　恵 ほか 174
高効率廃棄物発電 ……吉良雅治 ほか 178
高効率型流動床汚泥焼却炉 ……笹谷史郎 ほか 182
広域閉鎖性水域の浄化技術とその適用 ……縄田秀夫 ほか 186
無排水・高効率洗浄装置の開発 ……杉山茂広 ほか 190
排煙脱炭技術とその適用（英文 35-1）……飯嶋正樹 ほか 194

**一般　技術論文・報告**

砕砂の微粒分を有効利用した高流動コンクリートの開発 ……田村一美 ほか 198
超音波振動による輪転機ウェブしゅう動部の低摩擦化（英文 35-1）……池田　敦 ほか 202
人工衛星姿勢制御装置の熱制御 ……山田　明 ほか 206
非共沸混合冷媒を用いたマルチエアコンの冷媒組成分布の研究（英文 35-1）……平尾豊隆 ほか 210

◆第4号（通巻201号）内燃機関特集

特集　技術展望，技術論文・報告


ガスタービンの技術展望（技術展望）……小原一郎　225

1 500℃級501 G形ガスタービンの開発（英文35-1）……佃　嘉章 ほか　226

1 350℃級大型ガスタービン（Fシリーズ）の運用実績……谷村　聡 ほか　230

ガスタービン統合設計システムTDSYSの高度化……伊藤栄作 ほか　234

産業用ガスタービン高温部品への熱遮へいコーティングの適用……守屋慶一 ほか　238

ガスタービン用一方向凝固合金の多軸熱疲労寿命評価に関する研究……金子秀明 ほか　242

ガスタービン定検合理化支援装置の開発……常脇　寛 ほか　246

超音速輸送機用推進システムの研究開発……貴志公博 ほか　250

往復動内燃機関の展望（技術展望）……下田邦彦　255

大型舶用UECディーゼル機関の信頼性向上……古野啓二 ほか　256

三菱KUシリーズディーゼル機関の開発（英文35-1）……宮野弥明 ほか　260

新型高性能三菱ディーゼルS 12 H型機関の開発（英文35-1）……川嶋　基 ほか　264

小型ディーゼルエンジンにおける騒音低減技術の開発（英文35-1）……片山　晋 ほか　268

小型はん用4サイクルガソリンエンジンの排ガスクリーン化研究……中地正明 ほか　272

高性能希薄燃焼ガスエンジンの研究開発……中川　洋 ほか　276

レーザ着火メタノールエンジンの基礎研究……赤川裕和 ほか　280


一般　技術論文


紙層内の熱物質移動と紙変形に関する研究……久野広明 ほか　284

屋外自律移動型監視システムの開発……日浦亮太 ほか　288

FRASTA法による定量的破面解析法の開発……中馬康晴 ほか　292


◆第5号（通巻202号）船舶・海洋特集

特集　巻頭言，技術展望，技術論文・報告


船舶・海洋の明日を拓く（巻頭言）……難波直愛　301

単胴型高速カーフェリー“ゆにこん”の開発……上田直樹 ほか　302

大型コンテナ船の技術動向（技術展望）……田中　豊 ほか　306

浮体式石油生産貯蔵積出ユニット（FPSO）の設計……村尾尚文 ほか　310

新世代大型RO/RO貨物船……藤田重友 ほか　314

全没型双胴水中翼船の構造応答に関する実船検証……戸沢　秀 ほか　318

設計支援システムMATESの高機能化……大柴隆士 ほか　322

工作部門のシステム化によるCIMの実現……飯田昭男 ほか　326

船体形状データ作成と模型船NC加工システム ……栄田　靖 ほか　330

多目的LPG船のタンク材料と信頼性 ……多田益男 ほか　334

高精度キャビテーション予測によるプロペラ騒音の低減 ……大島　明 ほか　338

CFDによる流場解析の船舶への応用 ……石川　暁 ほか　342

$CO_2$海洋隔離におけるシステムの基本構想 ……尾崎雅彦 ほか　346

船体構造の耐衝突・座礁性能に関する研究 ……黒岩隆夫 ほか　350

**一般　技術論文**

深海電力貯蔵システムの提案 ……森重晴雄 ほか　354

ボイラ用精密鋳鋼製分岐管の開発 ……古河洋文 ほか　358

薄板圧延におけるスリーブ付分割バックアップロール（MCロール）の形状制御特性 ……橋本正一 ほか　362

2層中しん段ボール製造装置の開発 ……石渕　浩 ほか　366

長繊維強化チタン基複合材料の超塑性加工 ……山田　毅 ほか　370

分子動力学法によるSOFC材料設計 ……石原仲夫 ほか　374

**◆第6号（通巻203号）陸上交通・輸送システム特集**

**特集　巻頭言，技術論文・報告**

陸上交通・輸送システム特集の発刊に際して（巻頭言） ……伊藤俊明　381

山梨リニア実験線第二編成車両の開発 ……小祝弘道 ほか　382

マニラ市EDSAライトレールシステムの建設 ……寺林範司 ほか　386

空港向け無人運転車両――香港新空港向けAPM車両―― ……持留裕之 ほか　390

ロープ駆動式懸垂型交通システム“スカイレール”の開発 ……倉田章彦 ほか　394

新幹線軌道確認のための自動運転支障物検知車両の開発 ……山下　博 ほか　398

新交通システムの電力設備に関する設計手法と検証（交流方式） ……相場謙一 ほか　402

高速新幹線用C/C複合材ディスクブレーキの開発 ……涌沢邦章 ほか　406

ノンストップ料金収受システムの開発 ……村越英之 ほか　410

デュアルモードトラックシステムの開発実験 ……佐伯尋史 ほか　414

画像処理を用いたリアルタイム交通流計測システム ……塘中哲也 ほか　418

ITS用路車間通信システムの開発状況 ……浜名通夫 ほか　422

**一般　技術論文**

新型消波根固コンクリートブロック“ダイヤブロック”の開発（MTB 204） ……井上俊司 ほか　426

狭開先自動MAG溶接の無監視化技術と実用化 ……藤田　憲 ほか　430

電子ビーム真空蒸発装置における溶融金属液レベルモニタの開発 ……若元郁夫 ほか　434

超臨界水による廃プラスチック油化プロセスの開発 ……松原　亘 ほか　438

ヘリコプタロータ空力騒音解析プログラムの開発 ……内山直樹 ほか　442

地震エネルギー吸収型ビル制振システムの開発 ……平井　潤 ほか　446

**製品紹介・設備紹介**

**◆第1号（通巻198号）**

シリア ジャンダール700 MWコンバインドプラント（英文34-3） …… 62

火力発電所向け運転訓練用コンパクトシミュレータ（英文34-3） …… 63

小型ガバナ制御装置 …… 64

新型火炎検出器“三菱IR-S”（英文34-3） …… 65

オンライン灰中未燃分計 …… 66

日本道路公団金沢管理局湯沢管理事務所向け関越トンネル壁面・灯具清掃装置 …… 67

東洋鋼鈑(株)下松工場向けNo.3連続焼鈍ライン …… 68

東京海上火災保険(株)帳票センター …… 69

**◆第2号（通巻199号）**

コンセプトIV-MHヘッドボックス（英文34-3） …… 136

60G形ベルト加圧式シングルフェーサ（段ボールシート製造機）（英文34-3） …… 137

三菱ツインベルト式キャスティング機 …… 138

三菱テープレスロールアイロナ …… 139

三菱ギヤセンタGT06R …… 140

三菱高速セルSN40D …… 141

三菱ミーリングセンタV 360（英文34-3） …… 142

横形マシニングセンタM-HBシリーズ …… 143

三菱CNC横中ぐりフライスMAF-RS-C …… 144

小口径配管制振装置“ゆれピタ君” …… 145

新幹線新型確認車 …… 146

住宅用フリーマルチエアコン（2～3室用） …… 147

**◆第3号（通巻200号）**

炭カルセンサを用いた湿式排煙脱硫装置最適制御システム（英文35-1） …… 214

高速凝集沈殿装置 …… 215

膜分離による浄化槽汚泥処理装置 …… 216

ごみリサイクル実証設備（英文 35-1） …… 217
都市ごみ焼却灰溶融実証設備 …… 218
三菱ロータリキルン式産業廃棄物焼却発電設備 …… 219
三菱廃 FRP 処理システム …… 220
自動 PET ボトル減容機 …… 221
三菱アーティキュレートダンパ M 26 …… 222

**◆第 4 号（通巻 201 号）**

高精度エキシマレーザ加工装置 …… 296
三菱ステッケルミル …… 297
ノンインバータ ビル用マルチエアコン“MX マルチシリーズ” …… 298

**◆第 5 号（通巻 202 号）**

30 トンホットコイル・スラブ無人搬送設備 …… 379

**◆第 6 号（通巻 203 号）**

低騒音・低振動渦巻式圧縮機 …… 450
香港 APM 車両用空調装置 …… 451
車両動荷重計測装置 …… 452
道路三次元形状測定システム …… 453
自動車用 ECU（フロント ECU） …… 454
トンネル検査装置 …… 455

**開放特許・新案**

**◆第 3 号（通巻 200 号）**

ガイレスデリック装置 …… 223

**◆第 4 号（通巻 201 号）**

円筒胴体製造法 …… 299

**◆第 5 号（通巻 202 号）**

通風筒カバーの開放固定装置 …… 317
低騒音式防食舵 …… 353
索緊急離脱装置 …… 378

# 三菱重工業株式會社

取締役社長　増田信行

| | | | |
|---|---|---|---|
| ◆本社 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-3111 (大代表) |
| 技術本部 | 〒220-84 | 横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 | ☎横浜 (045) 224-9050 (技術管理部技術管理課) |
| 船舶・海洋事業本部 | 〒220-84 | 横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 | ☎横浜 (045) 224-9103 (船舶技術部) |
| 鉄構建設事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9125 (技術グループ) |
| 原動機事業本部 | 〒220-84 | 横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 | ☎横浜 (045) 224-9126 (原動機技術センター新製品開発部) |
| 原子力事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9420 (原子力業務部) |
| 機械事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9526 (機械業務部企画課) |
| 産業機械事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9045 (産業機械業務部企画課) |
| 航空機・特車事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9569 (航空機・特車業務部業務課) |
| 汎用機事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9680 (汎用機業務部企画課) |
| 冷熱事業本部 | 〒100 | 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 | ☎東京 (03) 3212-9705 (冷熱業務部業務課) |

◆支社・営業所

| | | | |
|---|---|---|---|
| 関西支社 | 〒530 | 大阪市北区中之島二丁目2番2号(ニチメンビル) | ☎大阪 (06) 202-1231 (受付・案内) |
| 中部支社 | 〒450 | 名古屋市中村区名駅三丁目28番12号(大名古屋ビル) | ☎名古屋 (052) 562-2111 (受付・案内) |
| 九州支社 | 〒812 | 福岡市博多区博多駅前二丁目2番1号(福岡センタービル) | ☎福岡 (092) 441-3741 (総務課) |
| 北海道支社 | 〒060 | 札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル) | ☎札幌 (011) 261-1541 (代表) |
| 中国支社 | 〒730 | 広島市中区大手町二丁目11番10号(NHK広島放送センタービル) | ☎広島 (082) 248-5111～5 (総務課) |
| 東北支社 | 〒980 | 仙台市青葉区一番町一丁目8番1号(東菱ビル) | ☎仙台 (022) 264-1811 (総務課) |
| 北陸支社 | 〒930 | 富山市牛島町18番7号(アーバンプレイス) | ☎富山 (0764) 32-8089 (代表) |
| 四国支社 | 〒760 | 高松市観光通二丁目2番15号(ダイヤビル) | ☎高松 (087) 834-5706 (代表) |
| 新潟営業所 | 〒950 | 新潟市東大通二丁目4番10号(日本生命新潟ビル) | ☎新潟 (025) 241-6020 (代表) |
| 沖縄営業所 | 〒900 | 那覇市久茂地一丁目12番12号(ニッセイ那覇センタービル) | ☎沖縄 (098) 866-1226 (代表) |

◆研究所

| | | | |
|---|---|---|---|
| 基盤技術研究所 | 〒236 | 横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 | ☎横浜 (045) 771-1022 (代表) |
| 長崎研究所 | 〒851-03 | 長崎市深堀町五丁目717番1号 | ☎長崎 (0958) 34-2050 (管理課) |
| 高砂研究所 | 〒676 | 高砂市荒井町新浜二丁目1番1号 | ☎高砂 (0794) 45-6700 (管理課) |
| 広島研究所 | 〒733 | 広島市西区観音新町四丁目6番22号 | ☎広島 (082) 294-9821 (管理課) |
| 横浜研究所 | 〒236 | 横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 | ☎横浜 (045) 775-0782 (管理課) |
| 名古屋研究所 | 〒453 | 名古屋市中村区岩塚町字高道1番地 | ☎名古屋 (052) 412-0199 (代表) |

◆事業所

| | | | |
|---|---|---|---|
| 長崎造船所 | 〒850-91 | 長崎市飽の浦町1番1号 | ☎長崎 (0958) 28-4121 (総務課) |
| 神戸造船所 | 〒652 | 神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 | ☎神戸 (078) 672-3111 (大代表) |
| 下関造船所 | 〒750 | 下関市彦島江の浦町六丁目16番1号 | ☎下関 (0832) 66-2111 (総務課) |
| 横浜製作所 | 〒231 | 横浜市中区錦町12番地 | ☎横浜 (045) 629-1201 (総務課) |
| 広島製作所 | 〒733 | 広島市西区観音新町四丁目6番22号 | ☎広島 (082) 294-2462 (企画課) |
| 高砂製作所 | 〒676 | 高砂市荒井町新浜二丁目1番1号 | ☎高砂 (0794) 45-6125 (総務課) |
| 相模原製作所 | 〒229 | 相模原市田名3000番地 | ☎相模原 (0427) 61-1101 (総務課) |
| 名古屋機器製作所 | 〒453 | 名古屋市中村区岩塚町字高道1番地 | ☎名古屋 (052) 412-1110 (総務課) |
| 三原製作所 | 〒729-03 | 三原市糸崎町5007番地 | ☎三原 (0848) 63-5111 (大代表) |
| 京都精機製作所 | 〒616 | 京都市右京区太秦巽町1番地 | ☎京都 (075) 861-3111 (大代表) |
| 広島工機工場 | 〒731-01 | 広島市安佐南区祇園三丁目2番1号 | ☎広島 (082) 874-3111 (総務課) |
| 名古屋航空宇宙システム製作所 | 〒455 | 名古屋市港区大江町10番地 | ☎名古屋 (052) 611-2111 (大代表) |
| 名古屋誘導推進システム製作所 | 〒485 | 小牧市大字東田中1200番地 | ☎小牧 (0568) 79-2113 (総務課) |
| エアコン製作所 | 〒452 | 愛知県西春日井郡西枇杷島町字旭町3丁目1番地 | ☎名古屋 (052) 503-9200 (受付・案内) |

三菱重工技報掲載内容に関する照会は、当該関連部門の上記電話番号(窓口)にお問合せ下さい。

三菱重工