

超電導磁気浮上式鉄道山梨リニア実験線基幹システム

Outline of Hitachi New Technologies for
Superconducting Magnetic Levitation Systems on Yamanashi Maglev Test Line

■ 内藤博次* Hiroji Naitô 阿部信夫* Nobuo Abe 桑原武夫* Takeo Kuwabara

The diagrammatic layout is organized into several colored boxes:

- Red Box (Left):**
 - 車上制御システム (On-board control system) with image of a driver's cabin and caption "先頭車内モニタ".
 - 軽量化車体 (Lightweight vehicle body) with image of a train and caption "アルミニウム試作構体".
 - 軽量化台車 (Lightweight bogie) with image of a bogie and caption "非弾性支持台車 (T4)".
 - 高信頼性超電導磁石 (High-reliability superconducting magnet) with image of magnets and caption "非弾性支持用 (H1)".
- Yellow Box (Top Middle):**
 - 運行管理・大型表示システム (Operation management and large display system) with images of a control room (caption "指令室") and a server room (caption "機械室").
- Green Box (Right):**
 - 駆動制御システム (Drive control system) with image of a control room.
 - 電力変換器 (GTOインバータ) (Power converter (GTO inverter)) with image of a large cabinet and caption "インバータ (40 MVA)".
 - 地上コイル (推進・浮上) (Ground coils (propulsion/levitation)) with image of a long tunnel and caption "ガイドウェイ (パネル方式)".
 - 高速分岐 (電動トラバサ方式) (High-speed branch (electric crossing type)) with image of a track junction.
- Blue Box (Center):**
 - 点検時3点支持ねじり荷重 (Point inspection 3-point support torsion load) with image of a rail cross-section.
 - せん断応力分布 (Shear stress distribution) with image of a blue rail cross-section.
 - 超電導磁石の振動 (Superconducting magnet vibration) with image of a magnet assembly.
 - 内槽の電磁力 (Inner coil electromagnetic force) with image of a yellow rail cross-section.
 - 磁気シールド機内の磁束分布 (Magnetic shield machine internal magnetic flux distribution) with image of a blue magnetic field simulation.
 - 推進コイル応力分布 (Propulsion coil stress distribution) with image of a green coil cross-section.
 - 外槽の電磁力 (Outer coil electromagnetic force) with image of a yellow magnetic field simulation.
 - 輻射シールドの電磁力 (Radiation shield electromagnetic force) with image of a yellow rail cross-section.

磁気浮上式鉄道山梨リニア実験線基幹システムの概要(上記写真の一部は、財団法人鉄道総合技術研究所、東海旅客鉄道株式会社の提供による。)安全で信頼性の高い高速鉄道の基幹システムは財団法人鉄道総合技術研究所、東海旅客鉄道株式会社の指導の下に開発を行った。

1990年から始まった超電導磁気浮上式鉄道山梨リニア実験線の建設は1997年春の走行実験開始に向けて、現在各種の調整試験が行われている。超電導磁気浮上式鉄道は、技術的には従来の鉄道技術とはまったく異なる画期的な鉄道輸送システムであり、日立製作所はこれに対応して各種の機器を開発した。

車両構体には軽量の70 mm厚のAlハニカム構造を、台車枠には軽量Al型材をそれぞれ採用し、最高速度550 km/hの超高速車両対応とした。また、超電導磁石には高剛性を実現するため、外槽にAl成形ハニカム材を採用し

て耐震性を向上させ、1,400 kgの重さで発熱量8 W以下の高性能を達成した。地上の推進コイルには22 kVの特高圧に耐えるエポキシ樹脂モールドを、浮上コイルには高強度、量産性の点からSMC (Sheet Molding Compound) をそれぞれ使用し、独自の一体スペーサでユニット化してパネルに組み込んでガイドウェイに取り付けた。

車両の速度制御には地上一次制御方式が採用され、超高速での高密度運転を行うために通常の運転制御は全自動化されている。超高速での自動運転は、わが国で最初である。

*日立製作所 交通事業部

1. はじめに

運輸省は21世紀の高速鉄道として期待される超電導磁気浮上式鉄道(以下,磁気浮上式鉄道と言う。)の開発を目指して,山梨県境川村を起点に秋山村を終点とした,走行距離延べ42.8 kmの新実験線の建設を決定し¹⁾,1990年8月にこの建設が国家プロジェクトとしてスタートする運びとなった。

これより先に日立製作所は,1989年から磁気浮上式鉄道についての基礎技術の開発を進めており,上記の決定を受けて1990年8月に浮上式鉄道山梨実験線推進本部を設置し,これに3工場・3研究所を加えた開発推進体制で,安全で高信頼性の超高速鉄道の基幹システムの開発に着手した。

山梨リニア実験線に使用する機器は開発要素が多い。そのため,東海旅客鉄道株式会社,財団法人鉄道総合技術研究所,日本鉄道建設公団の3社から成る山梨リニア実験線建設プロジェクトチームとの連携を十分にとり,各機器単品での性能はもちろんのこと,全体システムとして開発することにした。

ここでは,日立製作所の開発体制と各機器の開発項目,およびその成果の概略について述べる。

2. 開発課題と成果の概要

2.1 日立製作所の開発体制

磁気浮上式鉄道は,技術的に従来の鉄道技術とはまったく異なる画期的な鉄道システムであり,超電導磁石をはじめとして数多くの開発課題がある。そのため,日立製作所の総合力,システム技術力を結集し,安全で信頼性の高い超高速鉄道の基幹システムを開発する体制をとる必要があった。開発要素の多い製品の中から開発対象の主要素となる5品目を選び,さらにこれら相互に関係する各種問題について解析を実施するグループも設け,基幹システムとして合計6グループが相互に連携をとりながら開発を進めた。これら基幹システムとなる6グループは,(1)超電導磁石,(2)地上コイル,(3)電力変換器,(4)運転制御システム,(5)車体・台車,(6)解析技術である。これら6グループの相関関係を図1に示す。

上記(1)から(5)までの各機器固有の開発課題のほか,磁気浮上式鉄道のシステムから見て下記の点が各機器相互に関係した問題として考えられるため,連携をとりながら開発を進めた。

その主な点について以下に述べる。

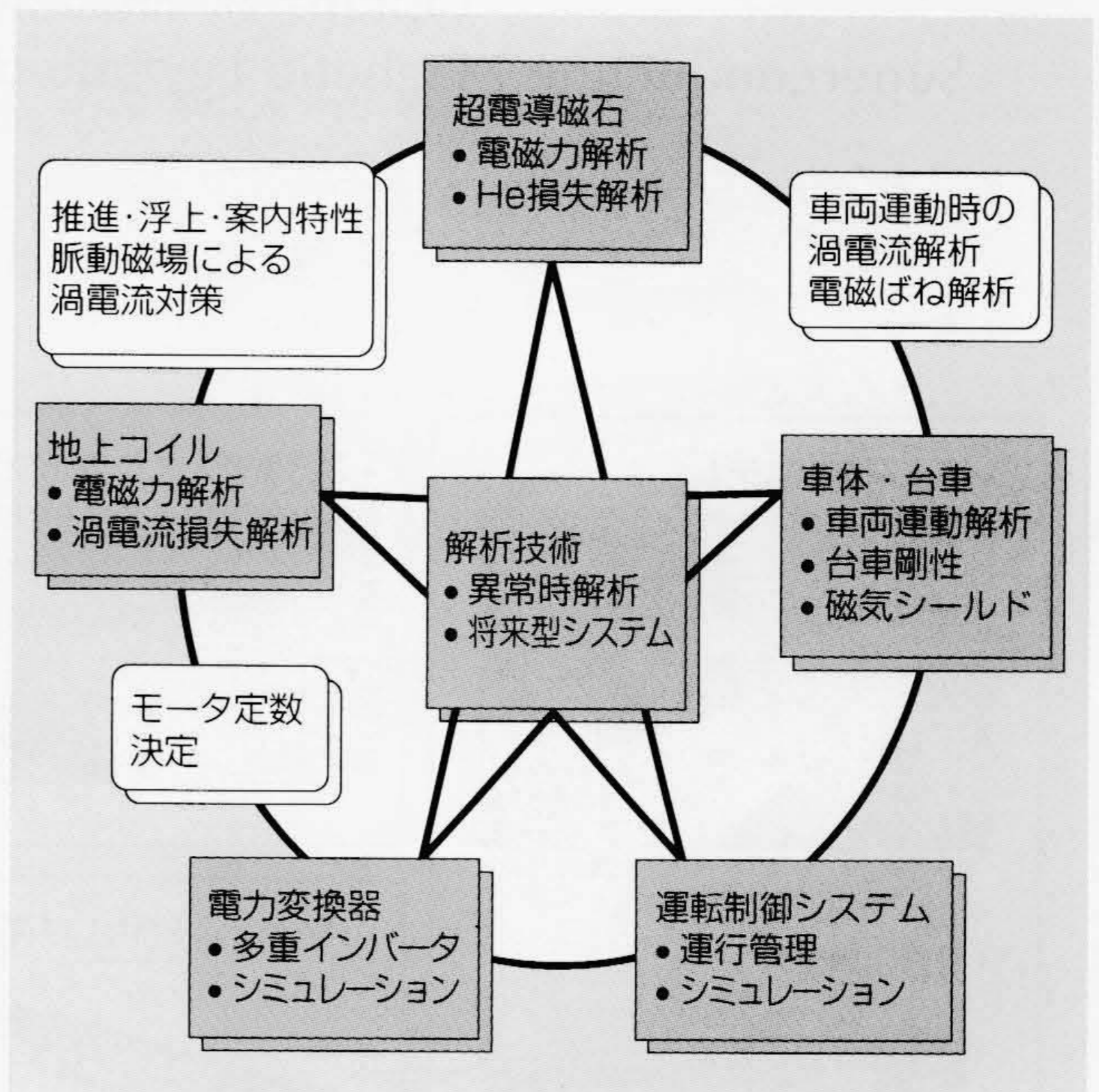


図1 各機器の主な開発課題と相互の関係

6グループが基幹システムとして相互に連携をとりながら開発を進めた。

2.1.1 超電導磁石—地上コイル

リニアシンクロナスモータとして推進・浮上・案内力を発生させるために両者は相互関連があるので,これらを明確にする必要がある。

2.1.2 超電導磁石—車体・台車

走行の際に発生する車両動揺は超電導磁石と地上コイルとの距離を変化させるが,これは超電導磁石の渦電流損に影響を与える。また,超電導磁石を固定するための台車はその剛性が重要となる。

2.1.3 解析技術

解析技術は図1に示したように,全体に関係している。このため,解析技術を除く5グループの相互に関係した各種問題点についてシミュレーションを行い,超電導磁石の発熱原因,輻射シールド振動時の渦電流解析,異常時の車両動揺などの問題を検討した。

2.2 各機器における開発項目と成果の概要

各機器固有の課題についても開発を進めた。その開発項目の概要を以下に述べる。なお,これらの開発の成果には東海旅客鉄道株式会社,財団法人鉄道総合技術研究所との共同開発および各種指導によるものも多く含まれている(この中から,超電導磁石・地上コイル,運転制御システム,車体・台車については本誌の別論文で詳しく述べる。)

2.2.1 超電導磁石

超電導磁石の開発では、外部磁場および機械振動が原因で発生する発熱の低減に力を注ぎ、開発を進めた。また、実走行中に受ける高周波機械振動に対しても高信頼性を確保することも重要な課題である。そのため、超電導磁石に作用する電磁力解析、それをベースにした荷重支持体^{2)~4)}の開発も行った。

超電導磁石の発熱・強度に影響する項目は多数ある。そのため、多くの解析と実験を繰り返し、最終的には下記の独特の構造をした超電導磁石の開発に成功した。

- (1) コーン形荷重支持体を採用して、超電導コイルを台車側からだけ支持
- (2) 台車側外槽表面にハニカム構造を採用して、外槽の高剛性化を達成
- (3) 内槽に高精度製作法を採用して機械摩擦発熱の低減を達成
- (4) 重さ1,400 kgで発熱量8 W以下を達成

2.2.2 地上コイル

山梨リニア実験線は、2層に重ね合わせた推進コイルと、その上にさらに浮上コイルを重ねた3層構造でコンクリート製パネルに取り付けるため、各コイルの高信頼性を確保しながら、取付作業を簡便化し、取付ボルトの軸力を確保することが開発課題である。そのため、(1) 一体スペーサ方式によるユニット化組立方法の採用によるパネルへの取付簡便化、および(2) 増締め周期の明確化を達成した。

これを基に日立製作所は、山梨リニア実験線の九鬼トンネルから車両基地に至る約6 kmにわたって地上コイル取付工事を行い、1996年10月、予定の工程どおりに工事を終了した。

2.2.3 運転制御システム(運行管理、駆動制御)

山梨リニア実験線では地上一次制御方式を採用しており、地上の電力変換所から各セクションには区分開閉器を切換えることによって電流を供給し、速度制御を行う。この場合、550 km/hの超高速で、しかも高密度輸送を実現するためには、高信頼性の下、地上の運転制御システムを自動制御で達成することが重要な開発課題である。

一方、駆動制御システムについては、速度および同期を高速で制御するための装置を開発した。開発で得られた成果は次のとおりである。

- (1) 多数列車群の効率の良い変換所境界可変制御方式の採用
- (2) ダイヤ(ダイヤグラム)どおりの運行を守る速度パタ

ーン作成方法

- (3) 速度および位相制御を併用した定点停止法の確立

2.2.4 電力変換器

高耐圧・大容量となる電力変換器の開発では、高耐圧素子の直列接続技術、スナバ回路の損失低減、および40 MVAクラスのGTOインバータの製作が大きな課題であった。

これらの開発に取り組み、次の成果を得た。

- (1) 素子特性を考慮した直列接続シミュレーション技術の開発
- (2) 高調波低減型インバータの開発
- (3) 40 MVAインバータシステム(1系統)の製作
- (4) 低損失スナバ回路の達成

2.2.5 車体・台車

車体にはAlハニカム構造の採用を当初から設計に取り入れ、高速車両に必要な軽量化・高剛性化・低騒音化・高耐圧力化の実現を目指した。

車内磁場低減のための磁気シールドの構造についても最適構造の開発を進めた。

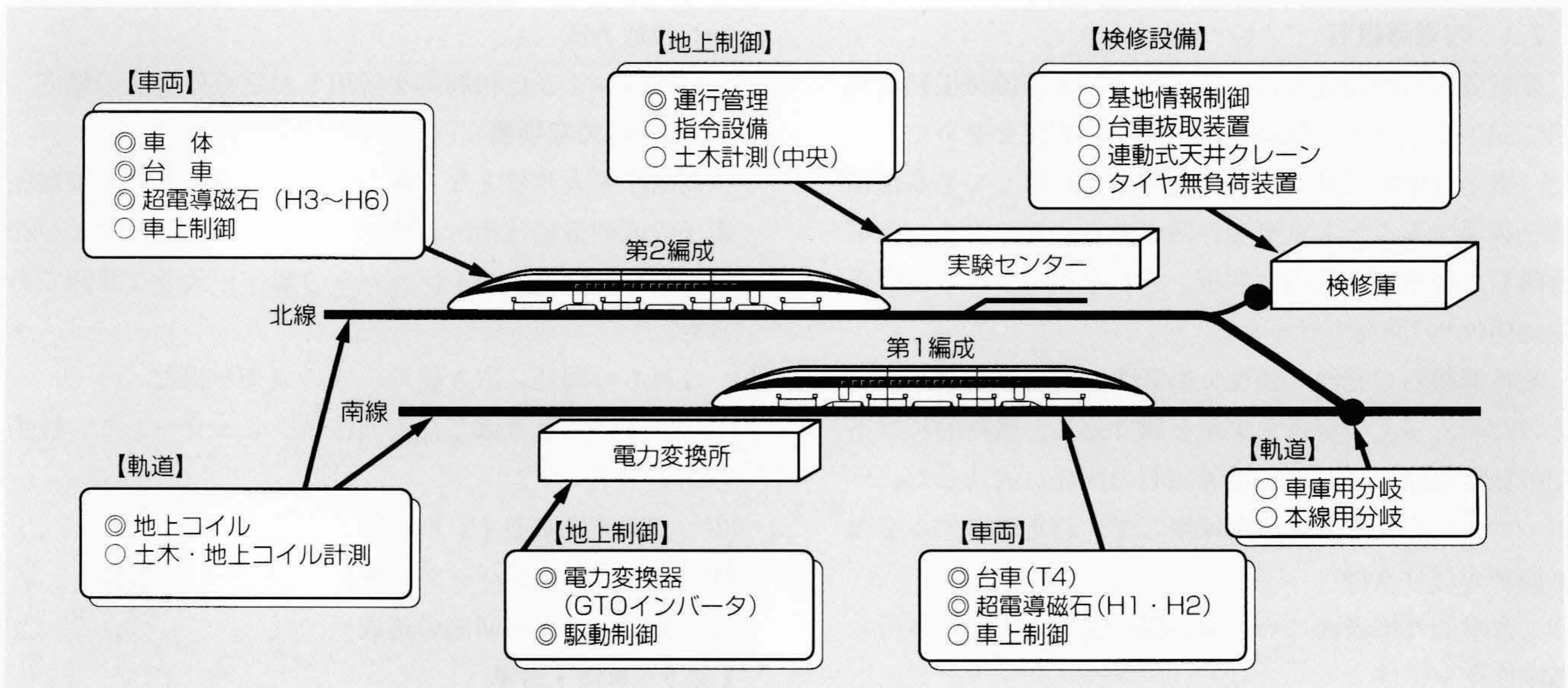
台車の場合、車輪受け部の繰返し荷重に対する耐久性確保が大きな課題であり、また、超電導磁石が取り付けられるときの剛性、特に横ばり剛性では、超電導磁石の振動を抑えるために最適化を図る必要がある。これらを検討し、次の成果を得た。

- (1) Alハニカム材の部分試作構体による耐圧疲労試験で 10^5 回を達成した。
- (2) 横ばり剛性を達成した。
- (3) 磁気シールドのシミュレーションと実測値はほぼ一

表1 主な解析項目とその解析結果

多種多様な解析・シミュレーションの結果を超電導磁石など各機器の設計・製作に反映した。

解析項目	解析内容とその成果
外槽加振力	超電導磁石外槽に作用する加振源と加振力の解析により、荷重支持体などの設計に反映
輻射シールド振動時の渦電流解析	表皮効果を考慮した輻射シールドの渦電流・電磁力を解析し、超電導磁石の設計に反映
渦電流解析	山梨リニア実験線走行時の渦電流解析によってHe蒸発量を推定し、超電導磁石の設計に反映
磁気シールド解析	三次元静磁場解析の計算と実測の比較がほぼ一致した。
列車すれ違い時の磁場解析	列車のすれ違い時での他方への磁場の影響解析を行い、磁気シールド設計に反映
車両運動解析	電磁力を考慮した列車全体の過渡応答解析を実施



注：◎(本稿で述べた機器), ○(本稿で述べなかった機器)

図2 山梨リニア実験線への日立製作所の納入製品

山梨リニア実験線用として車上制御装置, 高速分岐装置など多数の装置を開発し納入している。

致した。

2.2.6 解析技術

図1に示したとおり, 解析技術は各機器に大きくかわるため, 多種多様な解析・シミュレーションを行った。

これら解析・シミュレーションの結果は, 超電導磁石など各機器の設計・製作に反映した。解析・シミュレーション結果の最終的な確認は, 実際に山梨リニア実験線で走行したときに行われることになる。

今回, 特に注力して解析した主な代表例を表1に示す。

2.2.7 その他

日立製作所は, 上記以外に, 車上制御装置, 高速分岐装置, 車庫分岐, 台車抜取装置, タイヤ無負荷装置などを山梨リニア実験線用として開発し, 納入した(図2参照)。

3. おわりに

ここでは, 山梨リニア実験線に使用する機器の日立製

作所での開発体制および開発状況の概略について述べた。

山梨リニア実験線は1997年春に走行実験を開始する予定である。今後も, 各種機器のコスト低減, 超電導磁石の信頼性向上など, 実走行で得られる貴重なデータを基に, それらを今回の開発品にフィードバックし, 中央リニア新幹線への実用化に向けていっそうの研究・開発を続ける必要がある。

そのため, 東海旅客鉄道株式会社, 財団法人鉄道総合技術研究所, および日本鉄道建設公団との連絡を密にして現地調整も含めて対応し, 磁気浮上式鉄道の開発に努めていく考えである。

終わりに, この山梨リニア実験線の基幹システムの開発では, 東海旅客鉄道株式会社, 財団法人鉄道総合技術研究所, 日本鉄道建設公団の関係各位から多岐にわたるご指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 交通新聞: 1990年6月6日
- 2) 坂本, 外: 磁気浮上列車用超電導磁石の振動特性と内槽支持方法, 日本機械学会論文集, Vol.62, No.603C(1996)
- 3) 江島, 外: 超電導磁石用シリンダーロード型断熱荷重支持体, 日本材料学会第5回機械・構造物の強度設計評価に関するシンポジウム論文集(1995)
- 4) 青山, 外: 超電導磁気浮上列車用FRP製荷重支持体の開発, 日本機械学会論文集(A), Vol.62, No.598-A(1996)