

特集●新しい交通技術

新しい交通技術—超電導技術の応用分野—

京谷好泰*

都市間高速旅客輸送用として超電導磁気浮上鉄道（リニアモーターカー）の研究開発が進められている。この鉄道では超電導、低温、パワーエレクトロニクス、光通信等多くの新しい技術が使われている。なかでも、超電導技術は鉄道のみでなく交通機関、電力施設、電子計算機等多くの分野で応用が考えられ、研究開発中である。ここでは超電導磁気浮上鉄道研究開発の経緯、新しい技術、研究開発状況、超電導技術の波及分野について述べる。

New Traffic Technology

— Application Fields of Superconductivity Technology —

Yoshihiro KYOTANI*

As an intercity rapid transit, research and development of the super conductive magnet floated railway (the linear motor car) are under way. This railway employs a lot of new technology such as superconductivity, cryo-genics, electronics, optical communication, etc. Application of superconductivity among these, in many fields such as traffic modes, power facilities, computers, etc. is possible, and research and development are in progress. This paper describes circumstances of research and development of the super conductive magnet floated railway, new technology, research and development conditions and repercussion fields of the superconductivity technology.

1. はじめに

人が自分の力で、そして馬や牛などの動物の力を使って移動し、物を運んだ歴史は長い。蒸気機関車、蒸気船、自動車、プロペラ機から電気機関車、電車、バス、ジェット機へと発展してきた交通機関は社会、経済、文化の発展に貢献すると共に、公共輸送機関の経済性、公害、石油を含めた天然資源、輸送の確実性、安全等の問題を生じるようになった。このような問題を解決するために多くの提案がなされているが、それらを極言すると昔に戻るか、現状で耐えるか、より良い物を求めて前進するかの3つに分けられるであろう。この3番目の方向を旨として研究開発を進めているものに超電導磁気浮上鉄道がある。

以下、超電導磁気浮上鉄道研究開発の経緯、これに使われる新しい技術、研究開発の状況について述べ、終りに超電導技術の波及分野を展望する。

2. 経緯

1960年代に入るとわが国をはじめイギリス、フラ

ンス、アメリカ等で新しい駆動装置としてリニアモーターの研究が始められた。これまでの鉄道では回転型のモーターで車輪を廻し、車輪とレールの摩擦を利用して車両を駆動しているため、摩擦の限界によって勾配や速度に制限がある。そこで、電磁力を車両の駆動に直接利用できるリニアモーターが将来の鉄道用駆動装置として大きく期待されるようになった。

一方、1964年に開業した東海道新幹線の成功は世界中から注目され、鉄道が再び見直されるようになった。そこで、現在営業中の鉄道と、新幹線鉄道をさらに進歩改良するための研究開発を進めると共に、これまでの鉄道にとらわれない新しい鉄道の調査研究が始められた。1968年に入ると、より望ましい都市間高速旅客輸送機関を探求するために、交通機関が具備すべき条件とその交通機関をとりまく広い意味の環境を調査し、これらを基準にして、現存の交通機関や提案されている交通機関について検討を行った。

1) 具備すべき条件：都市間旅客輸送の具備すべき条件として、安全、高速、大量輸送、確実、快適なことがあげられ、次に妥当な運賃で採算が合うこと、公害の無いこと、便利なこと等があげられた。また、経済的な問題にも含まれるが、保守の容易なことを重要な条件の一つとした。

* 国鉄浮上式鉄道技術開発推進部長
Director, Technical Development Department
Japanese National Railways
原稿受理 昭和58年6月27日

ここで高速という条件をあげたのは、都市間旅客輸送において、出発地から目的地までの全所要時間を短くするためには、速度が大きき要素を占めると考えたからである。

また、保守の容易なことを重要な条件の一つにあげたのは、東海道新幹線あるいは東北本線にみられたような線路保守のための運転休止を避けると共に、保守費を低減したいためである。

2) 環境：新しいシステムを考える時に、このシステムの適用前の状況を把握し、適用後の姿を予測したり、適用前後の比較を行ってシステムの評価を行い、今後の交通機関の発展に役立てることが必要であると考え、広い意味の環境をとりあげて分類すると共に、可能な限り数値化することを試みた。そのおもな条件は、気象、地質、地形、塩害等を含めた自然条件、景観、日照権、騒音、振動、排気ガス、誘導障害、漏洩磁界、列車風等を含めた社会的条件、エネルギー消費、資材等を含めた資源条件等と技術的背景である。

資源と技術的背景についてはシステム候補に応じて調査を行った。例えば、超電導磁気浮上鉄道をとあげた時にはヘリウム資源の調査を行い、ヘリウムの産出がアメリカのみでないこと、さらには空気からヘリウムを液化分離した場合のコストの予測も行った。また、これらの作業を最初に行った1968年から1970年にかけては、超電導の技術予測はきわめて困難であったが、世界的に急激な進展を続け、近い将来実用化可能と判断した。

3) 選択：多くの候補から具備すべき条件、環境を基準に将来望ましいシステムを選択すると共に、交通機関の機能を支持、案内、推進に大別して機能別に候補を評価して組み合わせる方法も行った。その結果、鉄道は面の輸送は出来ないがハンドルが不要なため、高速運転を安全に出来ること、連結が容易で大量輸送が可能などの特徴があるため、第1候補にあげられた。しかし、これまでの鉄道では具備すべき条件に対して不十分であるため、鉄道の定義を地上の何物かに案内されて走行する輸送機関であるとして、車両を浮上走行させることにした。浮上方法としては空気のクッションを利用する空気浮上があるが、これは空気クッションの圧力が低いため、高速でのトンネル突入が不安定になるので、わが国では早くからこの研究は取り止め、外国も続いて取り止めた。そこで磁気浮上がとりあげられたのであるが、これについては次に述べる。

3. 新しい技術

超電導磁気浮上鉄道には超電導、低温、リニアモータ、パワーエレクトロニクス、光ファイバー通信等の新しい技術が使われており、新しい研究分野として、磁気の実体と与える影響がとりあげられている。ここではまず、浮上した車両も推進できるリニアモータについて、次に支持、案内を行う磁気浮上について述べ、推進にも浮上にも車上に磁石が必要なことを説明した後、超電導磁石、低温について述べる。

1) リニアモータ：線形の仕事をするモータを、それまでの回転型モータに対して線形モータ（リニアモータ）と呼んでおり、リニア電気モータとリニア流体モータに分けられるが、ここではリニア電気モータ（わが国では略してリニアモータ）について述べる。リニアモータはリニアインダクションモータ（LIM）とリニアシンクロナスモータ（LSM）に大別され、いずれのモータも固定側（回転モータでは固定子）と可動側（回転モータでは回転子）で構成され、リニアモータカーの場合は、駆動に必要な電力の大部分をいずれの側で消費するかによって、電力を固定側に供給する地上一次と可動側に供給する車上一次に分けられる。

LIMは磁気浮上車用として車上一次の研究開発が進められているが、空隙が小さいこと、エネルギー効率が低いこと、また、高速車両に利用した場合、大電力を車両に供給するための集電装置が必要なこと等から、高速用としての制約がある。

LSMは磁気浮上車用として地上一次の研究開発が進められており、車上にも地上にも通常の電磁石（常電導磁石）を利用する鉄心型LSM、車上に超電導磁石（鉄心は不要）、地上に空心型コイルを使った空心型LSMがある。空心型LSMでは空隙を100～150mmにすることができるが、鉄心型LSMではLIMと同じ10～15mm以上にすることは困難である。

2) 磁気浮上：リニアモータカーに利用される磁気浮上は、鉄と磁石の吸引力を利用した電磁吸引型磁気浮上（EM）と磁石の同極反発力を利用した誘導反発型磁気浮上（ED）とに分けられ、使用する磁石によって、EMを常電導磁気浮上、EDを超電導磁気浮上と呼ぶ場合がある。

EMは、支持と案内の機能をそれぞれ別の磁石で行う支持案内分離型と、吸引の特性を利用して同じ磁石で行う支持案内併用型がある。EMでは、磁石

と鉄レールの隙間が小さくなるほど吸引力が大きくなり、隙間が大きくなるほど吸引力が小さくなるので、このシステムは動的に不安定であり、隙間がある範囲におさめるために磁石の強さを制御する必要がある。また、このような制御を行うために車上の磁石には常電導磁石が使われるので、隙間が10~15mmになる。さらに、安全のために磁石の電源を確保する装置と緊急着地装置が必要である。

EDは、車上に取付けられた磁石によって地上に並べられた空心コイルに電流を誘導し、これによって車両を反発浮上させる方式である。従って、車両がある速度以上にならないと浮上しないため、補助の支持案内装置を必要とする。磁石に超電導磁石を使用することによって、空隙を100~150mmにすることが可能である。超電導磁石と地上コイルを単に対向させた対向型は、地上コイルに生じるジュール損によって走行抵抗が生じるため、定常な位置では誘導電流を生じないで、車両が偏寄した時のみ誘導電流を生じるヌルフラックス型も採用されている。対向、ヌルフラックスのいずれにしても、EDは動的に安定なシステムであり、支持、案内に関する制御を行う必要はない。

3) リニアモータと磁気浮上の組み合わせ：これまで述べたように各種のリニアモータ、磁気浮上にはそれぞれの特徴があり、これらをいかに組み合わせるかも重要な研究課題である。最近では、支持案内分離型電磁吸引浮上と地上一次鉄心型リニアシンクロナスモータを組み合わせたシステム（常電導磁気浮上鉄道）がEMの中心として、また、超電導誘導反発型磁気浮上と地上一次空心型リニアシンクロナスモータを組み合わせたシステム（超電導磁気浮上鉄道）がEDの中心として研究開発が進められている。

常電導磁気浮上鉄道実験装置の代表的な構成断面をFig.1に示す。これは西独のグループによって研究開発が進められているもので、鉄心型LSMの車上磁石には支持用の磁石が併用されている。本格的な実験はエムスランドの長さ約31.5kmの実験線を使って1983年中に始められる予定である。

超電導磁気浮上鉄道実験装置の代表的な構成断面をFig.2に示す。これは国鉄が中心となって研究開発を進めているもので、一つの超電導磁石によって支持、案内、推進に必要な磁界を得ており、また、地上コイルは推進、案内併用となっていて、案内にはヌルフラックス型を採用している。実験は宮崎県

日向市と都農町にわたる長さ約7kmの実験線を使って行われている。

4) 超電導磁石：空心型リニアシンクロナスモータにも誘導反発型磁気浮上にも、車上に磁石が必要である。この磁石は軽くて、コンパクトで、エネルギー消費量が少なく、できれば永久磁石のように励磁電流が不要で、推進、浮上に必要な磁界を発生できるような磁石が望ましい。この要望に応えられるものが超電導磁石である。超電導とは、ある種の材料を低温にすると電気抵抗がゼロになる現象を言い、このような材料で作られた線材を用いて作ったコイルとスイッチを利用すると、一度供給された電流はコイルとスイッチで構成された回路をいつまでも流れ続ける。このようなモードを永久電流モードと呼び、スイッチを永久電流スイッチと呼んでいる。

超電導磁石は、超電導コイル、永久電流スイッチ、

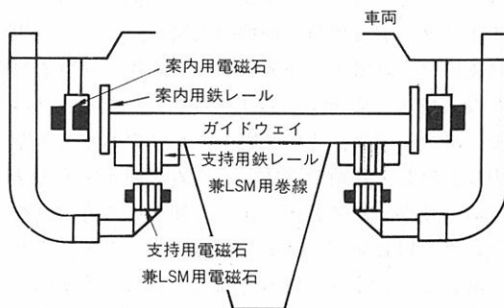


Fig.1 常電導吸引型磁気浮上
リニアシンクロナスモータ(LSM)推進鉄道
Electromagnetic suspension LSM(iron core)
propulsion Maglev

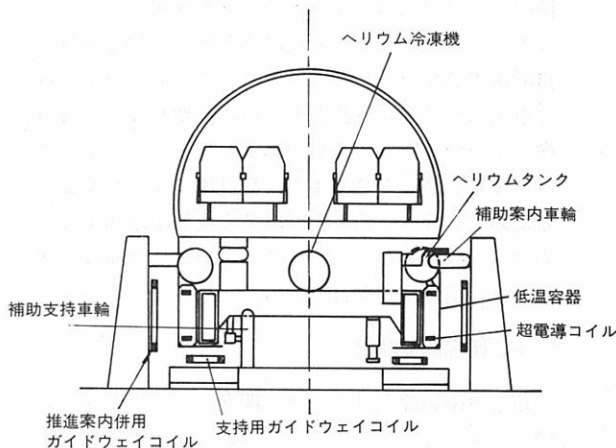


Fig.2 超電導磁気浮上LSM推進鉄道
Electrodynamic suspension LSM(air core)
propulsion Maglev

外部から電力をコイルに供給するためのパワーリード、内槽、熱しゃへい板、断熱支持材、外槽等から構成されている。リニアモーターの超電導材にはニオブとチタンの合金系のものを使用しており、コイルを低温に維持するため液体ヘリウムに浸漬している。内槽はヘリウム槽とも呼び、液体ヘリウム、超電導コイル等を収めている。外槽は超電導磁石の外表面を構成している容器で、内槽と外槽の間は真空が維持されており、多層断熱材、熱しゃへい板等が真空部に取り付けられている。

超電導コイルと地上コイルとの間に生じた反発力を車両の浮上に利用するため、断熱支持材が用いられていて、熱が液体ヘリウムに侵入するのを防ぎながら、所要の力を伝えることが要求される。そのため、複合材料で出来た円筒や、熱伝導率の小さい材料で出来たスポークや積層断熱材等が使われている。

5)低温：超電導磁石を構成している低温容器（クライオスタットと呼び、前項の内槽、熱しゃへい板、断熱支持材、外槽等で構成）の中の液体ヘリウムに熱が侵入すると蒸発し、ヘリウムガスとなる。リニアモーターでは、この蒸発したヘリウムガスを空气中に放出し、基地で液体ヘリウムを補充する方法、車上でヘリウムガスを再液化して使用する方法、ヘリウム槽を封じ切って、ある圧力以上になったら基地で減圧し、液体ヘリウムを補充する方法等がある。

現在では、封じ切ったヘリウム槽の内部に熱交換器を取り付け、これにヘリウム冷凍機からの低温冷媒を供給することによってヘリウム槽内のガスヘリウムを冷却し、再び液体ヘリウムに戻してヘリウム槽内を一定の低温に維持する方法が採用されている。このような冷却方法を間接冷却と呼び、熱交換器を再凝縮用熱交換器と呼んでいる。この方法を用いると車上にヘリウム液化機を用いる必要がなく、冷凍機でよいから冷却のためのエネルギーも小さくすみ、重量も軽くなる。また、超電導コイルを冷却するためのヘリウム系と再凝縮熱交換器を冷却するためのヘリウム系が別になっているので、冷凍機の運転に高い信頼度が期待できる。

4. 研究開発状況

超電導磁気浮上鉄道の研究開発はリニアモーターの研究が先行していたことを背景に、まず、超電導磁石による誘導反発磁気浮上の基礎研究とLIMの研究を併行して進め、超電導に関する研究の経過をみてLSMに進み、基本的な問題がなければ超電導磁

気浮上LSM推進の技術的可能性を確認した後、実用化への研究開発を進めたいと考えた。このような研究開発の進め方を当初考えた時、超電導磁石は車両専用となると考えて、ヘリウム液化機、冷凍機よりも車両用超電導磁石の研究開発を先行させることとし、低温関係については冷却方法、液化冷凍システム等の研究を進めることにした。

1970年に超電導磁気浮上の基礎実験装置を試作し、実験を行った。これは回転型の実験装置ではあったが、誘導反発の基礎的データを把握すると共に、超電導、低温技術習熟の第一歩となった。'71年には、この装置を使って超電導磁石を浮上させることに成功すると共に、超電導磁石の耐衝撃性を確認することができた。

'72年には、超電導磁気浮上LSM推進の実験を屋外で行うため、LSM200と称する実験施設を研究所構内に設け、超電導磁気浮上の他に、地上一次LSMの実験に初めて成功した。また、同じ年に鉄道百年事業としてML100と称する超電導磁気浮上LIM推進の実験を公開し、その安定した浮上走行を多くの人々に見て頂いた。この実験車は4人乗りであり、実験関係者の試乗が行われた結果、将来への期待が高められた。一方、このような走行実験と併行して軽量クライオスタット、軽量ヘリウム圧縮機等の研究開発が進められると共に、ガイドウェイ、電力供給装置、LSM制御装置、情報伝送装置等の研究開発も進められた。

'75年には、これまで回転型実験装置で研究が進められていたヌルフラックス案内とLSM推進併用方式の走行実験が行われた。これにはML100に使用したガイドウェイを改造して用いたので、この実験施設をML100Aと呼んでいる。この実験の成果は次の宮崎実験線の設計、施工に大きく反映された。一方、軽くて、コンパクトで、熱侵入が少ない超電導磁石の追究はさらに続けられた。

ML100に至るまでの走行実験と各装置個々の研究開発が進められた結果、超電導磁気浮上LSM推進は技術的に可能であるとの見通しが得られた。そこで、実規模に近い状態で最高速度500km/hの可能性を確認するため、九州の宮崎県日向市と都農町にわたり約7kmの実験線を建設して、走行実験を行うことにした。

まず、最初の目標を長さ10m、重さ10tの無人実験車で最高速度500km/hを数秒持続することに設定して計画を進めた。その際、最も大きな問題の一つに

なったのはガイドウェイの断面形状であった。ガイドウェイの受ける横方向力についての資料が乏しいため、ガイドウェイの建設費が高くなること、また、車両の受ける推進力、ブレーキ力をできるだけ車両の中心に近づけて安定した走行をねらいたいこと等の理由から、Fig.3に示すような断面とした。このような断面のガイドウェイを逆T型ガイドウェイと呼んでいる。Fig.3に示すような断面を持った車両をML500と呼び、これは磁気浮上を略したMLと目標500km/hを意味している。

ML500の超電導磁石は、車両を上下に支持する超電導コイル2個と、推進案内を併用する超電導コイル2個をL型断面の低温容器に収納しており、このような電磁石が台枠の上下左右に1基ずつ取り付けられている。台枠の上には、支持装置を介して計測器制御装置等を設置する台が設けられ、これら全部を覆って空気抵抗を低減するため、カバーが台枠に取付けられた。車両の外観をFig.4に示す。ML500の全長は13.5m、重さ10tになった。実験は1977年7月から始められ、車両運動、走行抵抗、超電導磁石をはじめとする各部の振動等の計測を行いながら速度をあげていった。ガイドウェイのほぼ中間から終端側に半径1万m、カント6.6度の曲線があるので、曲線走行の実験も行うことができ、また、運輸省からの委託研究によって模擬トンネルの走行実験も行った。そして、'79年12月12、13日の2日間は、100mm浮上して安定走行するML500が最高速度504km/hを達成する姿を多数の人々に見て頂くことができた。さらに、同月21日には最高速度517km/hを達成して、逆T型ガイドウェイによる実験を終了した。

2年半に及ぶML500の実験によって、超電導磁気浮上LSM推進が技術的に可能であることを確認することができたので、次の段階として有人型実験車による連結走行の実験を行い、より実用的な方向へ向けて実験を進めることにした。このため、実用時に車両の断面積が小さくなり、重心が低くなることが期待できる箱形断面を実験車の断面に採用し、これに従ってガイドウェイの断面をU型とした(Fig.2, Fig.5)。

実験車をMLU001と呼び、先頭車、中間車、後尾車の順に1号車、2号車、3号車と称してMLU001-1が先頭車を表現するようにした。それぞれの車両の長さは10m、重さは10tを基本とした。使用された超電導磁石は、Fig.2に示すように支持、案内、推進

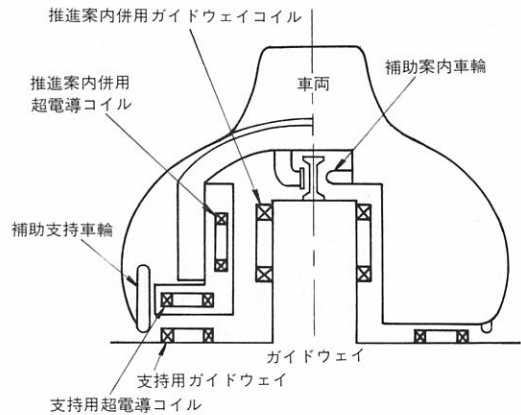


Fig. 3 超電導磁気浮上リニアシンクロナスマータ(LSM)推進鉄道(ML500)
Superconductive magnetic levitated train(ML500)

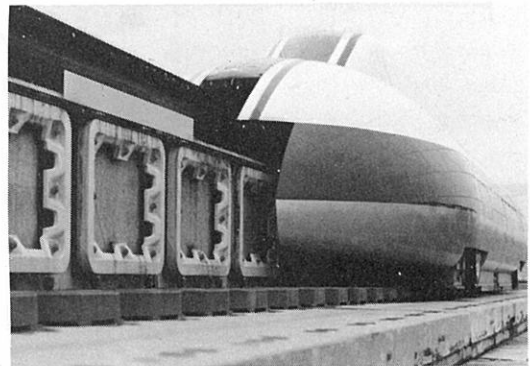


Fig. 4 ML500

併用の超電導コイルをI型断面の低温容器に収めている。実験車にはいずれもヘリウム冷凍機を搭載して、間接冷却により超電導コイルを低温に維持するようにした。

比較実験を行うため、1、3号車では2個の超電導コイルを収めた超電導磁石を台枠の前後左右に1基ずつ合計4基を取り付け、1号車ではヘリウム冷凍機1台を搭載し、3号車ではそれぞれの超電導磁石とヘリウム冷凍機を組み合わせた。また、2号車では1個の超電導コイルを収めた超電導磁石にヘリウム冷凍機を組み込んだので、合計8台の冷凍機を使用している。大部分の冷凍サイクルはクロードサイクルであるが、研究開発の進んだ逆スターリングサイクルにジュール・トムソン弁を付加したサイクルの実験も行っている。このように車載冷凍が行えるようになったのは、'79年に実験を行ったML500Rの成果が大きな力となった。Fig.6に超電導磁石

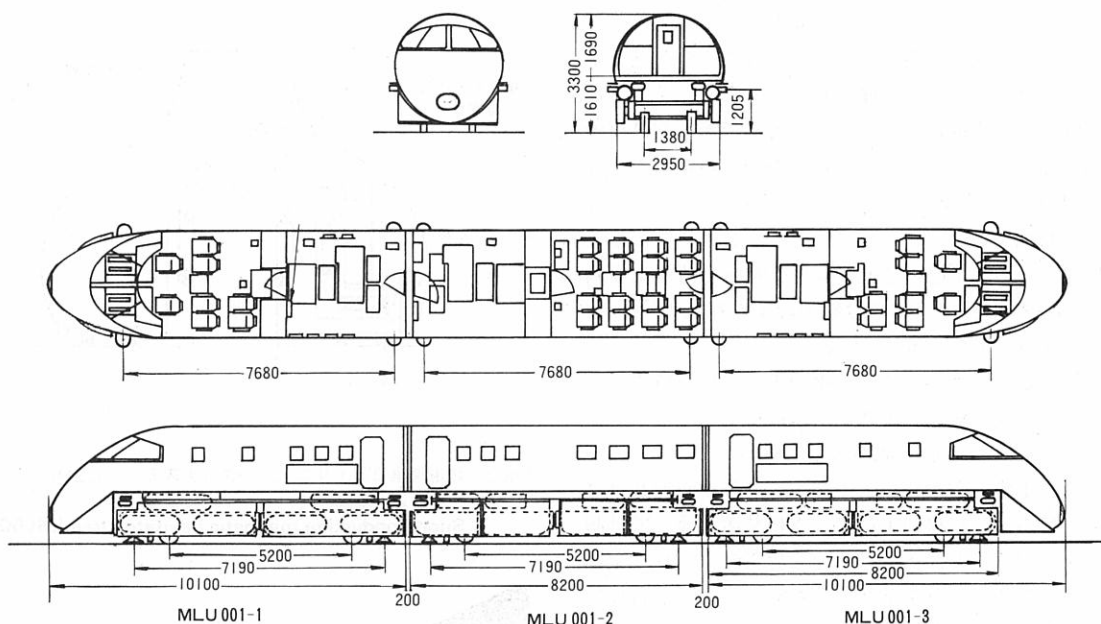


Fig. 5 MLU 001

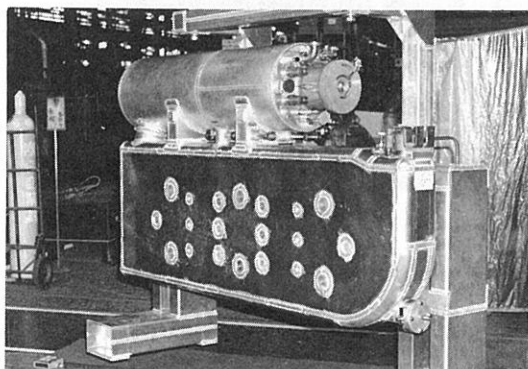


Fig. 6 ヘリウム冷凍機組込型超電導磁石
Superconducting magnet Helium refrigerator
built in type

と冷凍機の外観を示す。

走行実験は'80年11月から1号車を使用して始められ、'81年11月からは1、3号車による2両連結の実験が行われた。'82年9月からは有人走行が始まり、同年11月からは3両連結の実験を行った (Fig. 7)。資金的理由から電力供給設備の容量によって走行速度に制約を受けているが、今後さらに設備を強化して速度向上をはかる計画である。

5. 超電導技術の波及分野

MLU001の3両編成では、700KATの起磁力を

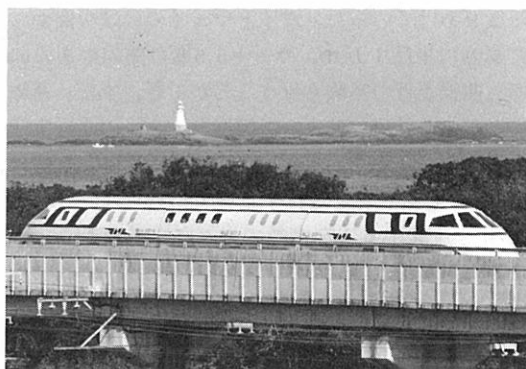


Fig. 7 MLU001

持った超電導コイルが合計24個使われている。この超電導コイルが車両の推進、支持、案内に必要な磁界を発生するという重要な役割を果たしている。低温に維持するためのエネルギーを含めてもエネルギー消費量が少なく、コンパクトで、軽量で、必要な磁界が得られる磁石として、超電導磁石はリニアモーターカー以外にも多くの利用が考えられる。また、磁石として利用するだけでなく、電気抵抗ゼロ、外部からの磁界侵入を拒否するというマイスナー効果、超電導エレクトロニクス分野を開いたジョセフソン効果などを利用する研究開発も進んでいる。これら超電導技術の応用分野を交通機関、電力施設、その

他と分けて述べる。

1) 交通機関：超電導応用に早くから着目されたのは軍用であり、その性格上発表に制限があって、現状把握は十分ではないが、航空機の発電装置として MHD 発電、超電導回転機があり、船舶の推進用として超電導回転機がガスタービン—超電導発電機—電力供給線—超電導電動機—推進軸—プロペラの系で使用されており、具体的なものは英米両国の海軍でそれぞれ独自のものが開発されている。カナダでは砕氷船の推進用超電導電動機の研究開発が進められている。磁界中の海水に電流を流し、海水に生ずる電磁力を利用して船舶を推進する研究も、大型タンカーから潜水船を対象としており、国によっては潜水艦への利用が提案されたが、その後発表されていない。この原理を反対に利用して潮流発電を行う構想もわが国で提案された。

陸の応用としては超電導磁気浮上列車があるが、大型ディーゼル機関車で主発電機に超電導発電機を利用することが早くから提案されたが、その後の進展はあまり見られない。しかし、石油問題から生じた石炭利用として石炭焚機関車、水素機関車等に超電導を利用することも考えられる。また、スターリング機関車でもディーゼル機関車と同じことが考えられるようになるであろう。永久電流モードで使用する超電導磁石はエネルギー貯蔵装置として使えるので、その応用も考えられている。

2) 電力施設：超電導発電機、MHD 発電、核融合発電等世界の主要国が研究開発を進めているこれらの施設には、いずれも超電導が利用されている。また、従来の発電所内での大型電動機に超電導電動機を利用して、総合効率を高めることが期待されている。超電導が電気抵抗ゼロであることは大電力の遠距離送電にとって大きな魅力であり、また、超電導エネルギー貯蔵は今後の発展が期待されている。電力消費側としては超電導調相機、超電導電動機等の開発が進められている。

3) その他：一つの私案であるが、超電導を中心とする新技術発展のため、MHD 発電—超電導送電—超電導エネルギー貯蔵—超電導磁気浮上鉄道を基本とする総合的な実験施設の建設が、今後の技術発展に大きく役立つのではないだろうか。また、月から宇宙空間への貨物輸送用に考えられているルナー・

マス・ドライバーは超電導磁気浮上 LSM 推進であり、地球上での利用も考えられているマス・ドライバーでも超電導応用が研究されている。この外、強力な磁界を利用するものとしては超電導磁気分離装置、高エネルギー物理学の実験に使用される加速器への超電導利用等がある。

以上述べてきたものは、主として電力を中心とするものであったが、最近、急激な進展をみせているものにジョセフソン効果の利用を中心とした超電導エレクトロニクス分野がある。その中でも実用化の早かったものはジョセフソン電圧標準であり、超電導量子干渉計 (SQUID) を計測に応用する研究も活発に行われている。また、新しいタイプの電子回路素子として論理回路、記憶素子等電子計算機へ応用する研究開発が進められている。

超電導技術の進展に欠くことのできない技術として低温技術があり、低温技術は宇宙開発によって大きく進められてきた。ヘリウム液化、宇宙通信等がそれであり、この外、低温加工、低温破碎、保存、低温治療がある。また、超高真空を得るのに使用されているクライオポンプも、低温技術と真空技術の協力によって発展してきたものである。低温用冷凍機についても高能率のスターリング冷凍機、超電導磁石を用いた磁気冷凍機等の開発が進められている。

6. むすび

わが国における超電導磁気浮上鉄道技術開発の成果は多くの国から注目されている。その注目される内容には、超電導磁石、ヘリウム冷凍機、サイクロコンバータ等の技術的成果と、このような多方面にわたる科学技術を応用するために、多くの領域の専門家が協力している実情と、この開発が自主開発によって進められていること等がある。そして、このような成果をあげることができたのは、多くの方々の御理解、御指導、御協力によるものであり、心から感謝します。「超電導磁気浮上鉄道が超電導の応用の中で最も人々に身近なものとして一番早く実現するであろう。しかも、これは日本で開発される」とアメリカ NBS の総合研究所長パーミンガム氏が述べているが、1日も早く超電導磁気浮上鉄道を実現し、多くの人々の期待に応えたいものである。