

# 実用化へ近づく浮上式鉄道

田中 壽

## 1. 超電導方式の選択

国鉄の分割民営化を目前に控えた1987年3月28日、浮上式鉄道宮崎実験線では新しいMLU002実験車が内外の報道陣に披露された(図1)。国鉄が超電導磁石を応用した磁気浮上列車の開発にとりくんで17年、ようやく営業用車両の1歩手前であるプロダクト車両の落成にこぎつけた。4月以降浮上式鉄道の開発は新しく発足した(財)鉄道総合技術研究所がひきついでいる。

この開発は次世代の高速陸上輸送機関として最高速度500km/h程度のもが必要になるという考えから出発している。在来鉄道方式では、①粘着駆動(車輪とレールとの摩擦力に頼る駆動方法)②車輪およびレールの保守、③接触集電(架線とパンタグラフとによる集電)に限界があり、上の速度の実現は困難である。これを突破する方法はいくつか考えられるが、環境問題も考慮すると電氣的なシステム、すなわち①に対してはリニアモーター、②に対しては磁気浮上、③に対しては地上1次式(リニアモーターは構成要素が車上と地上とに分かれる。動力を供給する側を地上側とする方式)をとるのが望ましい。

そしてここから大きく考え方が分かれるのであるが、日本の「浮上式鉄道」は超電導磁石を用いる

反発方式を、西ドイツの「トランスラピッド」は常電導磁石を用いる吸引方式を選び、対照的なシステムとなった。常電導磁石では浮上高さは10mm程度しかとれないのに対して、超電導磁石では磁界が強いため100mm程度は可能である。走行中の車両の運動、ガイドウェイの多少の狂いなどを許容するには浮上高さは100mm程度必要というのが超電導方式をとる側の考え方である。超電導磁石は鉄心が要らないので軽く、永久電流状態で使用するので車上に励磁用電源を必要としないという利点もある。(地上側にも超電導磁石を並べるのでは経済的に成り立たないので、地上側はただのループコイルとし、車両がこの上を通過するとき生ずる誘導電流を利用して一時的に磁石とする)

超電導方式をやると言い出したのは当時国鉄技師長調査役の京谷好泰氏で、1969年のことであるが、部内にはかると、なにしろ「超電導」とか「極低温」とか、いわゆる「断絶の技術」であるだけにアレルギーも強かった。しかし激論の末に、これをやろう、という結論になったのは、(i)在来方式の鉄道はよくできていて、過去100年以上使われてきた上に、なおまだ最高速度300km/h運転に向けて発展途上にある。したがってこれから開発しようというものは、このくらい高度のものでなければ意味がない。(ii)また常電導方式の場合の浮上高さ10mmはもうほとんど改善の余地がないのに対して、超電導磁石には大きな可能性がある、と

たなか ひさし (財)鉄道総合技術研究所

〒185 国分寺市和光町2-8-38

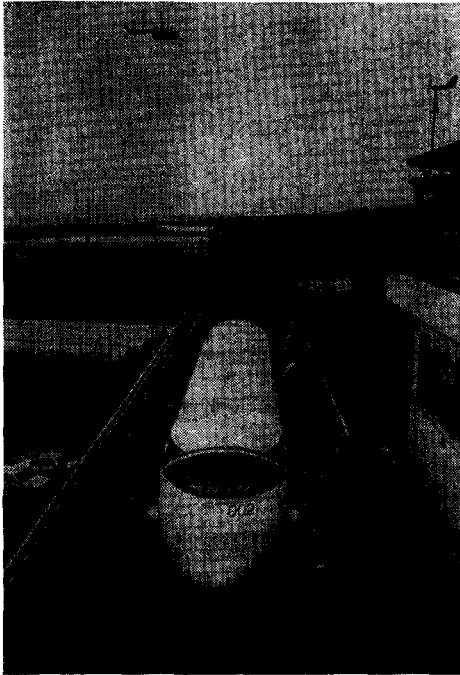


図 1 MLU002プロトタイプ車

いう考えからであった。

## 2. 開発の経過

実際に開発に着手したのは1970年であるが、1972年3月には鉄道技術研究所の構内において重量2tのLSM200実験車を速度50km/hで走らせることに成功した。「当時は、超電導磁石に浮上力や推進力などのような力を加えたり、動かしたりすることは、必ずクエンチを起す原因となるから、やっではいけないこととされていた」(荻原宏康編著、応用超電導、日刊工業新聞社、1986)のであるから、これは画期的なできごとであった。同年10月には、同研究所構内において、鉄道100年記念事業の1つとして、ML100実験車の走行実験を公開した。

そして宮崎実験線での高速実験に移る。1979年12月、重量10tのML100実験車は目標を越す最高速度517km/hに達し、本方式の高速走行の可能性を証明した。その後ガイドウェイをより実用に近いU型断面に改造し、1980年11月以降、MLU001

実験車により連結運転(3両まで)、乗車実験、ガイドウェイ不整通過実験などを行ない、1987年2月、3人の開発スタッフを乗せ最高速度400.8km/hを記録して終了した。このMLU001において、1つの超電導コイルを支持、案内、推進のすべてに兼用する構成法が確立し、また小形冷凍機までビルトインした超電導磁石がほぼ完成の域に達した。

今は常電導方式1本の西ドイツも、かつては超電導方式も研究していた。AEGテレフンケン、ブラウンボベリイおよびジューメンス社のグループがエルランゲンに直径280mの円形軌道(45°のバンク付き)を作り、重量17tの実験車を最高速度230km/hまで走らせている。しかし1978年に研究技術省はその開発を中止し、常電導方式1本に絞ってしまった。それで何人かの日本人から、「賢明なドイツ人が止めてしまったような超電導方式の開発を、なぜまだ日本国鉄はつづけるのか」といわれたりもした。

西ドイツが止めた理由は、①財政面から両方式の開発は不可能、②開発期間、費用、およびリスクは超電導方式の方が大きい、③中央ヨーロッパの地勢的条件から400km/h以上の速度は必要でなく、350km/hか300km/hあればよい。この速度域では、技術的経済的観点から常電導方式が有利だというものであった。

しかし実際にはそれだけではないようで、当時の西ドイツの超電導磁石は熱侵入が大きく、それが理由で超電導方式に見切りをつけてしまったらしい。これに対して、日本では超電導磁石について改良を重ね、MLU001の2極型のもので、内槽への熱侵入量を2.5W(この熱侵入があると1時間当たり3.5ℓの液体ヘリウムが蒸発する)まで減らすことができた。これによって超電導磁石にビルトインされた小型の冷凍機で気化したヘリウムを再液化することが可能となった。超電導磁石は走行にともなう振動に耐え、信頼性も十分高いことが証明されている。

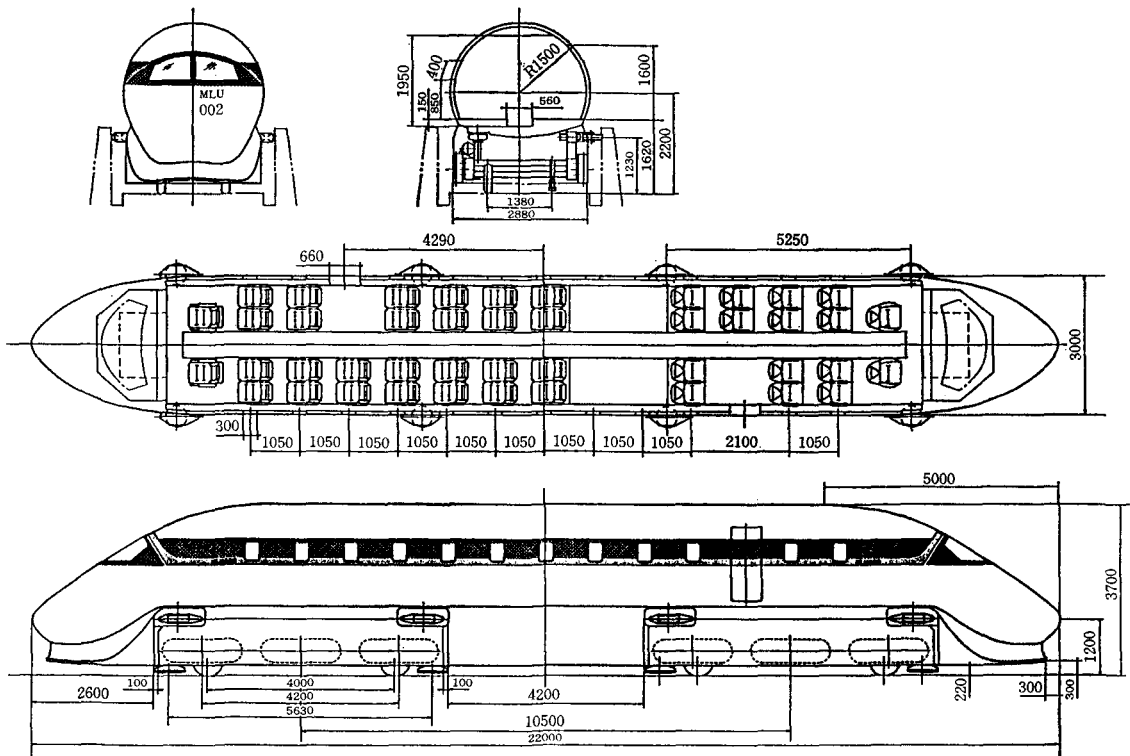


図 2 プロトタイプ車両

### 3. プロトタイプ車と実用化の考え方

MLU001までで開発がかなり進展したので、これまでの成果を集大成するとともに、実用時のイメージを示し、安全性、信頼性、実用化の最終確認を行なうためプロトタイプ車両 (MLU002) を製作した。この車両も宮崎実験線で走らせるためそのガイドウェイの構造に合せてあるが、これでデータをとることにより、あちこちで生まれつつある実用化計画の具体化への設計基準等の提供等が可能となる。

MLU002は長さがMLU001の約2倍の22mと、営業用車両並みの大きさである(図2)。

地上1次式のため車両については超電導磁石くらいしかないとはいえ、車両重量は17tと、新幹線電車の1/3以下である。超電導磁石はMLU001では車両の全長にわたって連続して設けられていたが、MLU002ではその高性能化を反映させ

て数を減らし、在来鉄道のボギー車のように、台車部分だけに集中して配置した点が大きな特徴である。超電導磁石の数を減らすことは車両全体の軽量化、コスト低減などに役立つ。

MLU002は1両製作するだけであるので両端を丸くし、計測器等を車内に積むため定員は44人ととどめてあるが、連結形の営業用車両に直せば70~80人乗りになる大きさである。最高速度500km/h用の車両ではあるが、実験線の長さ(7km)の制約から420km/h程度としている。この車両での走行実験には2年間を予定しているが、1年ではほぼ最終的な確認ができると考えている。

営業用車両としては、図3に示すように、超電導磁石を車両と車両との連結部だけに設ける連接車方式を考えている。磁石間で床を下げたそこを客室とし、車両高さを小さくして空気抵抗を減らすとともに、客室と磁石とを離すことにより車内の磁界を大幅に低減する。磁気シールドは超電導

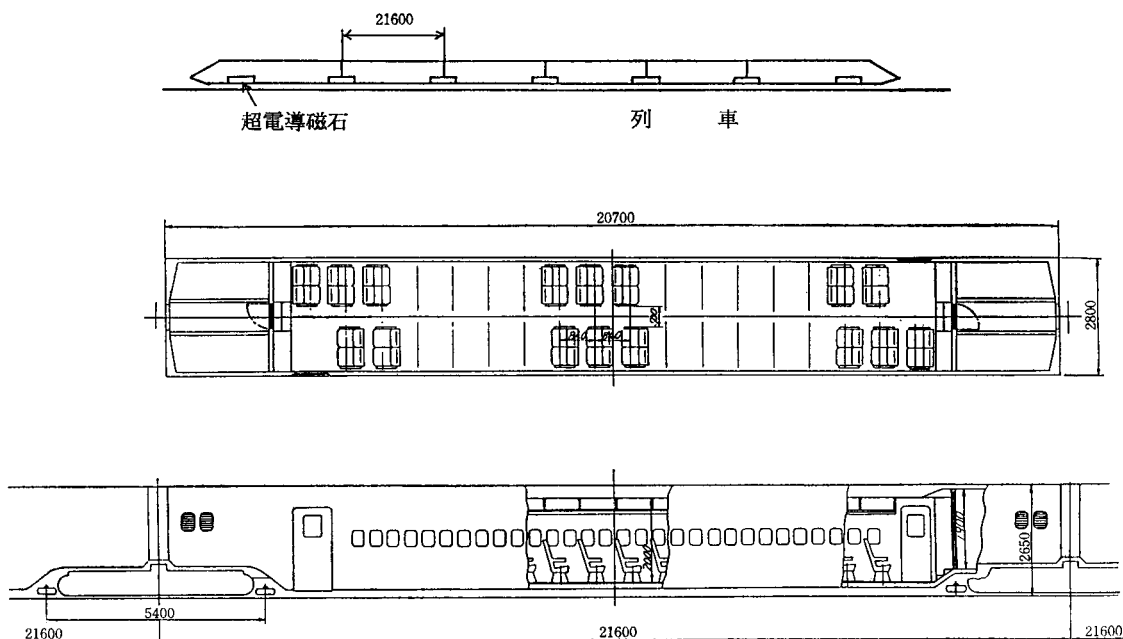


図 3 営業用車両

磁石上部の通路、機械室部分だけに設ければよい。超電導磁石の起磁力 (700kA) は ML U002 と変わらないが、超電導コイルの長さを若干長くし、また地上コイルを宮崎実験線と変えることにより、超電導コイルを 2 極としても浮上力等は確保できる。

先頭車は長さ 28.0m、重量 27 t、定員 67 人、中間車は長さ 21.6m、重量 18 t、定員 68 人、1 列車 14 両編成、全長 315m、重量 270 t、定員 950 人のものを考えている。曲線半径は通過速度 500km/h に対して 6000m (振り装置を付ければ 4000m も可能)、最急勾配 100%、連継勾配 60% 程度とする。

地上 1 次式は設備が大規模なものになるという先入観も手伝って、従来は東京～大阪間のような長距離・大量輸送区間だけを対象としてきたが、全長 7km という短い宮崎実験線で走行テストをくりかえした結果、空港アクセスのような、30～50km 程度にも適用し得ると考えられるに至った。駅間距離が 30km あれば表定速度は 300km/h をこえ、このシステムを採用する意義がある。

#### 4. 高温超電導体

I BM のチューリッヒ研究所が 1986 年春、ランタン・バリウム・銅の酸化物が 30K 付近の臨界温度をもつ超電導体である可能性があると指摘したことには端を発し、日本の東大グループがこれを証明して以来、ここ数箇月の間に世界各国で新しい超電導体の発見や臨界温度の上昇があいついでいる。これまでに電気抵抗が完全にゼロになるという確認を終了しているもので最高 94K である (イットリウム・バリウム・銅の酸化物)。このような超電導線材が開発・実用化されれば、寒剤は液体窒素 (1 気圧での沸点 77K) で済み、超電導磁石や冷凍システムの構成が大幅に簡素化されるのは明らかである。

さらに十分に確認されるには到っていないが、常温 (300K) での超電導についても研究発表がみられるようになってきた。

国鉄が超電導方式の開発に着手して間もない頃すでに常温超電導が可能だという説が出されていた。しかしそれは科学上の発見を要する事柄であ

るので、その実現時期が予測できないこと、またそれが実現すれば技術的には楽になる方向であることから、とりあえず液体ヘリウム温度で作動する線材（ニオブ・チタン合金系）を用いて開発をすすめてきたのである。

国鉄では線材の開発まではいっていないが、目標を少しずつ引き上げるといふやり方で開発をリードし、当初銅比（超電導線材は銅に埋込まれている。銅／超電導体断面積比）が10程度であったのを5（ML500）、2（MLU001）、1（MLU002）と低減し、画期的な電流密度の向上と軽量化を達成した。

MLU002の超電導コイルは起磁力700kAで、電流密度20000A/cm<sup>2</sup>以上に達しているが、新しいセラミックス系超電導体もこれと同程度の性能になってはじめて磁気浮上車に使用することが可能となる。現状ではコイルにした場合の電流密度はまだ2桁くらい小さい。また十分な強度をもつ磁石を作れるかどうかとも重要である。

現在でも超電導磁石の中間熱シールドには液体窒素を使用している。液体窒素は空気分離により大量に製造されており、安価なため使い捨てとしている。液体窒素温度で使用できる線材が実用化されたとすると、まず使い捨て方式が考えられるが、これまで開発してきた小型のヘリウム冷凍機技術も役立てることができる。いずれにしても液体ヘリウム冷却磁石から液体窒素冷却磁石への移行にとまらぬ困難な問題はほとんどない。

去る5月19日から21日まで米国ラスベガス市において開催された第4回高速鉄道に関する国際会議（磁気浮上およびリニア駆動に関する国際会議と連合して開催）の夕食会の演説で連邦鉄道局のJ. H. Riley長官は、これからは超電導の時代だと述べた。日本はこれまで超電導磁気浮上車の走行実験を行ってきた唯一の国であり、高温超電導体の出現でその未来はますます明るくなった。今後ともご支援をお願いしたい。

#### 学会到着図書

書名	著者	発行所	頁数	価格
社会学概論 上	穴戸駿太郎 } 高柳 暁昇 } 共編 坂下 圭一 } 山田 磐郎 } 高橋	学陽書房	294 p	¥ 2,900
社会学概論 下	穴戸駿太郎 } 高柳 暁昇 } 共編 坂下 圭一 } 山田 磐郎 } 高橋	学陽書房	268 p	¥ 2,900
都市防災計画論 一時・空概念からみた都市論一	村上 處直著	同文書院	200 p	¥ 5,000
ソフトウェアの製造 一日科技連ソフトウェア品質管理シリーズ3ー	石井 康雄	日科技連	381 p	¥ 3,800
離散多変量データの解析	柳川 堯著	共立出版	215 p	¥ 3,500
JUSE-QCASによる品質管理	久米 均編	日科技連	330 p	¥ 3,800