

■ 展望・解説 ■

リニアモーターカーの動向

Trend of Linear Motor Car

京 谷 好 泰*

Yoshihiro Kyotani



概 要

現在、日本では超電導磁気浮上列車開発のためのプロトタイプ車MLU002が宮崎実験線で走行している。この開発が実用間近に迫ったため、多くの地域から関心が持たれ、営業線建設は政治的決定を待つ段階になっている。これまでに蓄積された技術を利用して、チューブ鉄道、船、発射台や超電導都市構想の研究が進められている。

まえがき

東海旅客鉄道株式会社主催の「リニア・エクスプレス展」は多くの人々の関心を集めている。これは東海旅客鉄道株式会社が東京—大阪450kmを約1時間で結ぶ「中央リニア・エクスプレス」の開通を目指して、現在総力を挙げて取り組んでいることを広く人々に知って頂くための展示会である。「リニア・エクスプレス」とは最高速度500km/hの超電導磁気浮上リニアシンクロナスマーター推進列車のことである。

国鉄が行っていたリニアモーターカーの研究開発は1987年4月1日より、新たに組織された財団法人鉄道総合技術研究所によって進められている。浮上式鉄道宮崎実験センターの運営も鉄道総合技術研究所が行っ

ている。

1. プロトタイプ車MLU002

1.1 構造概要

MLU002の主要仕様を表1に、形式図を図-1に示す。

車両の外形は、これまでのML500、MLU001の実

表1 MLU002主要仕様

Vehicle dimensions	
Length×Width×Height	22.0m×3.0m×3.7m
Mass	17t
Seating capacity	44
Superconducting coil	
Number of coils	6 poles×2 rows
Magnetomotive force	700KA
Pole pitch	2.1m
Suspension	
Lift	196KN
Effective gap	110mm
Guidance	
Guidance force	83.3KN at 50mm shift
Effective gap	more than 150mm
Propulsion	
Thrust	0—79.4KN
Phase	3
Frequency	0—28Hz
Voltage	5800V
Current	900A
Maximum speed	420km/h

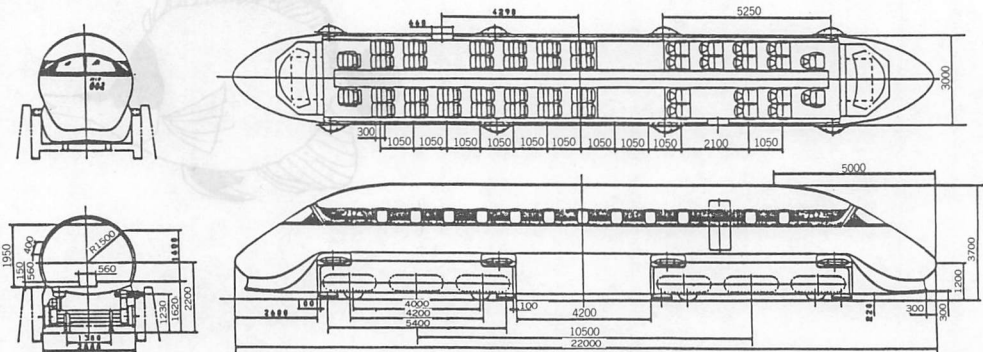


図-1 プロトタイプ車MLU002

* (株)テクノバ代表取締役会長

〒100 東京都千代田区内幸町2-2-2

(註) 第10回総会時の特別講演会(89.4.18学士会館)にて講演

験結果と模型による風洞実験の結果を参考にして決定した。両方向性を持たせるため車両両端の形状は同じにしてある。これまでの実験車と大きく異なっている点は超電導磁石が車両の進行方向に連続して配置されていないことである。これは、次に示すような営業車の構想を考えて、予め確認のための実験をしたいと考えたからである。

1案として提案された営業車の概念設計仕様を表2に、概念図を図-2に示す。図に示すように車体と車体の接続部の下に台車があり、この台車の両側に超電導磁石が取り付けられている。したがって超電導磁石が進行方向に不連続の配置となっている。このような構成を考えた理由は、車両の高さを出来るだけ低くし、

表2 営業車概念設計仕様

Maximum speed	500km/h
Vehicle dimensions	
Length×Width×Height	28.0m×2.8m×2.65m(E) 21.6m×2.8m×2.65m(M)
Mass	27t(E) 18t(M)
Seating capacity	67(E) 68(M)
Levitation height	100mm

(E) : End car, (M) : Middle car

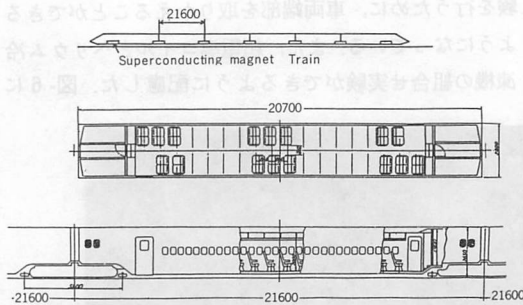


図-2 営業車概念図

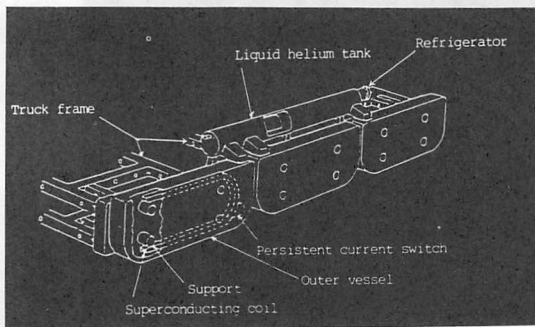


図-3 超電導磁石 (MLU002)

車両断面積を小さくして走行抵抗を小さくするためであり、また、この結果、座席が超電導コイルから遠くなるので、小規模の磁気シールドで、乗客の受ける磁界を小さくすることができる。

MLU002の超電導磁石では、推進、案内、支持の3つの機能を1つの超電導コイルで併用している。このような機能を持った超電導コイルを1コイル収納した低温容器を3個、図に示すように1つのヘリウム・タンクで接続し、ヘリウム・タンクに取り付けられたヘリウム液化・冷凍機で低温を維持している。図-3に超電導磁石の外観を示す。この1組が台枠の両側にそれぞれ取り付けられるので、1両としてみた場合、6極-2列の配置となる。ヘリウム液化・冷凍機はクロード・サイクルのものが2台、スターリング・サイクルのものが2台使用されており、間接冷却と直接液化が行えるようになっていて、地上の低温設備の規模が小さくてもよいように考えられている。

MLU002の室内は空気調和装置、照明装置、情報表示装置などが設けてあり、将来のトンネル走行を考えて客室は気密構造となっている。座席の後ろには液晶テレビが取り付けられており、列車前方の様子を見ることができるとともに、ビデオテープからの両像を見ることがもできる。また、車内前後端の上部にはインフォメーション・パネルを設けて乗客に必要な情報を提供できるようになっている。

1.2 実験

MLU002は、1987年3月28日から1989年3月末までに、約2,400回の走行試験を行い、延走行距離は約11,000kmに達した。これまでの最高速度は380km/hで、4,500人が試乗された。試乗についての貴重な情報は東海旅客鉄道株式会社の三宅会長が乗られたことである。会長はペースメーカーの使用者であり、試乗前に記者会見を行って自身がペースメーカー使用者であり、これから試乗することを発表された後、MLU002に試乗され、その後、再び記者会見を行って、なんと支障のなかったことを宣言された。ペースメーカー単独の走行車内実験は、これまでも行っていたが、最終的には着用者の試験によるしか方法が無いと言われていたから、会長自身の意向による人体実験は多くの人々に強い感銘を与えるとともに、リニアモーターカー実用化促進に大きな力となった。MLU002は目標最高速度420km/h達成をめざして、これからも試験が続けられ、広く一般の方々にも乗って頂けるよう計画が進められている。

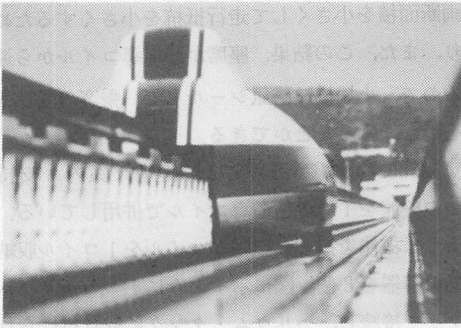


図-4 ML500

2. 開発経過

1960年代早々から始められたリニアモータの研究に続いて、超電導磁気浮上、リニアシンクロナスマータなどの基礎研究が行われた。これらの成果をもとに1972年から研究所内でLSM200, ML100, ML100Aなどの走行実験が行われた。ついで、実規模に近い状態で技術的可能性を確認するため宮崎に長さ7kmの実験線を建設し、実験を進めることになった。

2.1 ML500

宮崎実験線で最初に走行した無人型実験車が図-4に示すML500である。この車は長さ13.5m、重さ10トンで、1979年12月に目標最高速度500km/hを突破し、517km/hを記録した。これにより超電導磁気浮上リニアシンクロナスマータ推進の技術的可能性を確認することができた。また、この車を使って長さ350mの

模擬トンネルの走行実験を行ったり、この車を改造したML500Rによって車載型ヘリウム冷凍機と間接冷却の実験を行うことができた。

つぎに、人を乗せ、ヘリウム冷凍機を搭載して、連結走行の実験が行えるようにMLU001を3両製作し、実験を進めた。

2.2 MLU001

ML500とMLU001の断面を図-5に示す。図は同一縮尺で書いてあるから、超電導磁石がいかに軽量、コンパクトになっているか判って頂けると思う。この大きな理由はMLU001では1個の超電導コイルで推進、案内、支持の3機能を併用したからである。ML500では推進と案内を併用したコイルと支持のみのコイルの2種類の超電導コイルを使用していた。

MLU001の両端車の長さは10.1m、中間車の長さは8.2mあり、幅は3.0m、高さは3.3mである。1両の重さは10tonで、上下空隙は100mm、左右空隙は150mmになっている。最高速度は単車で400km/hを計画したが、これは電力供給設備をML500当時のままとしたからである。MLU001の車体はどの車も2室に分けられている。1室は蓄電池、インバーター、情報伝送装置などを搭載した機械室であり、他の1室は計測室である。実験が順調に進んでから後に、計測室に座席を取り付け人が乗れるようにした。両方向性の実験を行うために、車両両端部を取りかえることができるようになっている。また、超電導コイルとヘリウム冷凍機の組合せ実験ができるように配慮した。図-6に

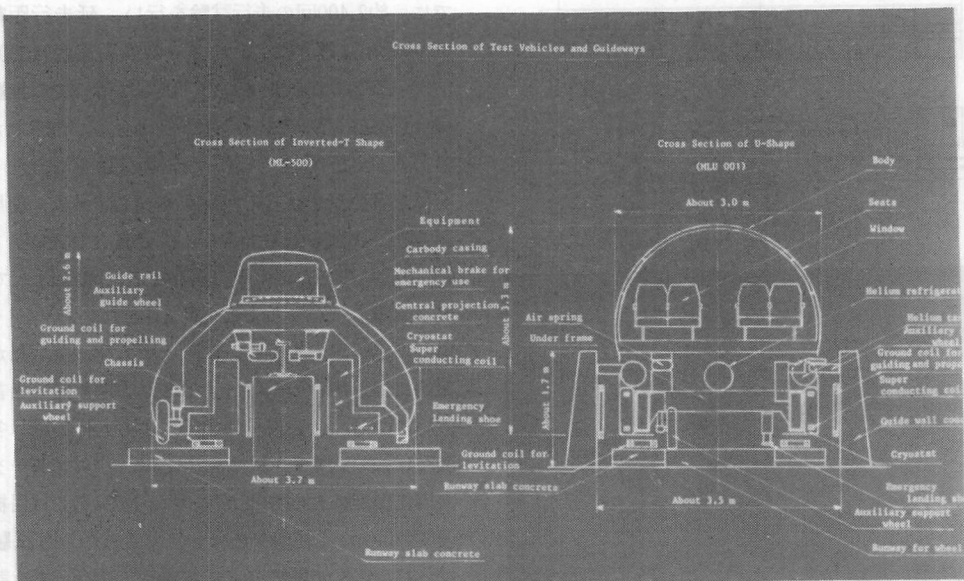


図-5 ML500, MLU001断面

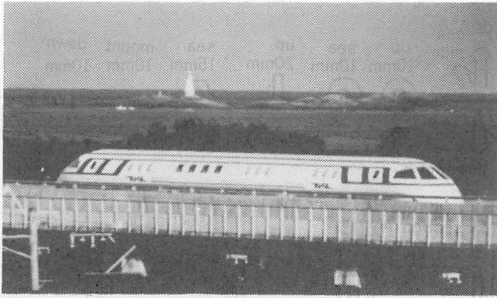


図-6 MLU001 3両連結

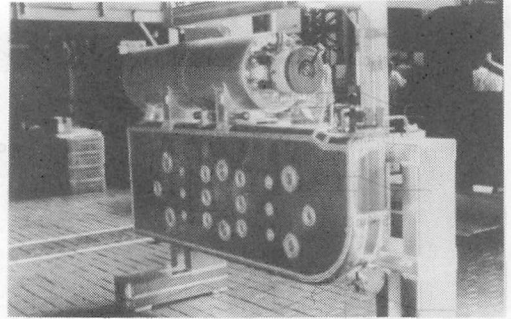


図-8 超電導磁石 (MLU001)
(1コイル, クロード・サイクル)

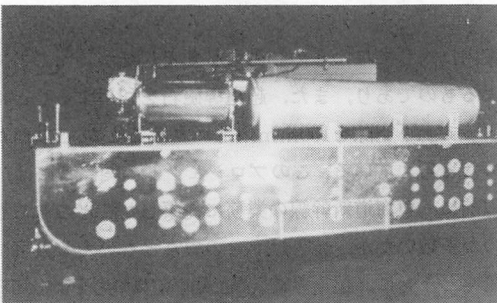


図-7 超電導磁石 (MLU001)
(2コイル, クロード・サイクル)

3両連結で浮上走行中のMLU001を示す。

図-7はMLU001に使用された超電導磁石で、1つの低温容器の中に2つの超電導コイルを収納し、間接冷却用にクロード・サイクルのヘリウム冷凍機1台を取り付けている。ヘリウム冷凍機の重さは40kg、ここに示した全重量は700kgになった。

図-8は1つの低温容器の中に1つの超電導コイルを収納し、間接冷却用にクロード・サイクルのヘリウム冷凍機1台をヘリウム・タンクと一体構造にした。

図-9は1つの低温容器の中に1つの超電導コイルを収納し、間接冷却用にジュール・トムソン回路とスターリング・サイクルを組み合わせたヘリウム冷凍機1台をヘリウム・タンクと一体構造にした超電導磁石である。当時の技術ではスターリング・サイクルのみで4Kレベルに達することが困難だったために、このような方法を用いた。

MLU001で使用したスターリング・サイクルのヘリウム冷凍機の実験結果が良かったので、スターリング・サイクルのみで4Kレベルに到達することを検討し、実現可能の見通しを得たので、科学技術庁から研究費を頂いて研究を進めることにした。まず、スターリング・サイクルのみで到達可能な温度を研究するための装置を試作し、1983年に3.7Kに到達することが

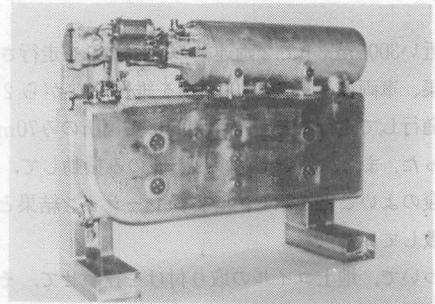


図-9 超電導磁石 (MLU001)
(1コイル, スターリングサイクル)

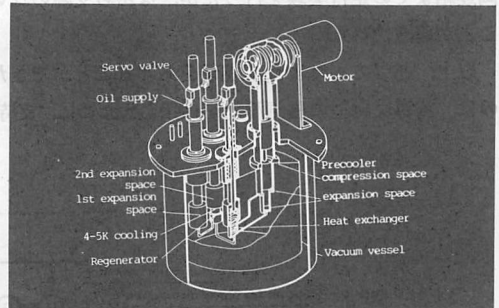


図-10 スターリングサイクル冷凍機

できた。これに力を得て、研究開発を続け図-10に示すような4Kレベルで出力5ワットの冷凍機を製作し、MLU002に搭載して耐久試験を行っている。

2.3 実験

宮崎実験線は全線が高架になっている。この高架構造を構成している高架桁の取り付けを図-11に示すように故意に狂わせて、その上をMLU001に走行させ、シミュレーションの結果と比較した。図中の数字は狂い量を示したもので、従来の高速鉄道では到底考えられない値である。実験の結果、走行になんの支障もなく、またシミュレーション結果ともよく一致した。図中の最下図に示すような角折れを2山設け、共振速度

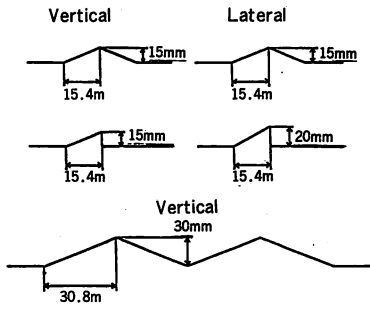


図-11 桁取付け狂い設定例

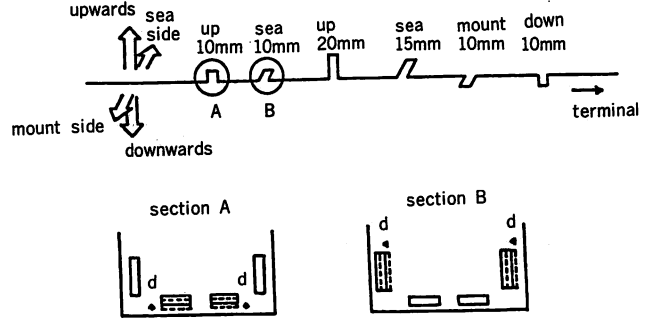


図-12 コイル取付け狂い設定例

に近い300km/hで2両連結のMLU001を走行させた結果、車両は上下空隙100mmを維持しながら2山に追従して走行するが、瞬間的に1箇所のみ70mmとなった。また、狂い通過後、1波のみ振動して、振動減衰のよいことを示し、シミュレーション結果とよく一致していた。

ついで、地上コイルの取り付けを狂わせて、その上をMLU001に走らせる実験も行った。コイル取り付け狂いの例を図-12に示す。このような狂いに対して3両連結までの走行実験を行ったが、なんら支障のないことが確認された。

以上、述べてきたような成果をあげることができたのは、誘導反発型の磁気浮上を採用したために、支持

案内に対してなんらの制御も必要としなかったことによるものであり、また、超電導磁石を利用することによって上下空隙を100mm以上にすることができたためだと考えている。このプロジェクトの関係者には、以前に、東海道新幹線の業務に従事したことのあるものが多数いたが、彼等は、この異常ともいえる数字に驚くとともに、超電導磁気浮上列車の真の力をよく知っている。

電力供給装置図-13は宮崎実験センターの最初の電力供給装置構成を示している。当時の技術では60Hzから直接0-34Hzの可変周波数の電力を得るサイクロコンバータを得ることは困難であった。そのため、電動発電機を使って60Hzから120Hzまで上げておき、120Hzから0-34Hzの可変周波数電力を得ていた。

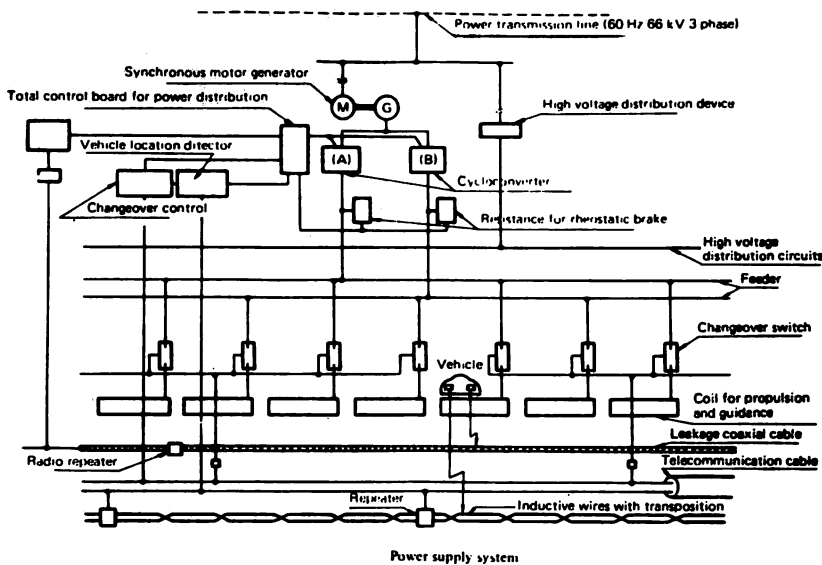
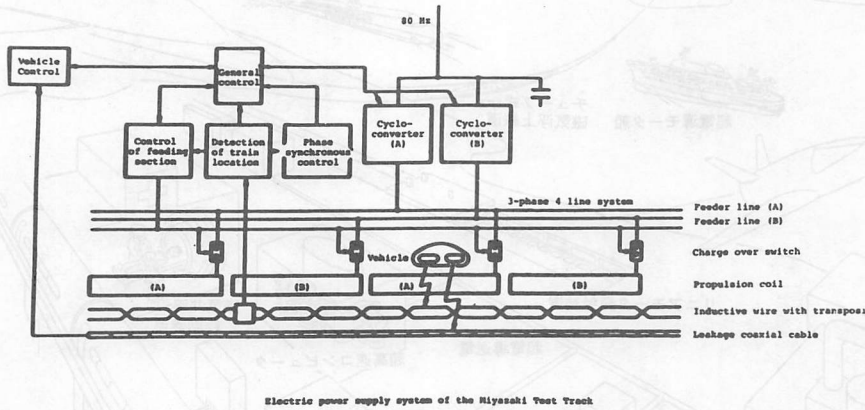


図-13 電力供給装置 (First Step)



Electric power supply system of the Miyazaki Test Track

図-14 電力供給装置 (Second Step)

その後、実験の進歩とともに電力供給容量の増大が望まれ、また、パワーエレクトロニクス技術の進歩とともに電力供給装置の改良が望まれるようになった。そこで、図-14に示されるような新しい電力供給装置が設置された。図から判るように、最早、ここには電動発電機は存在しなくなった。これは電力供給装置のコストが大巾に低減できることを示している。この工事は1986年に行われ、電力供給装置の実験が進められた。

1986年末から、この新しい電力供給装置を使ってMLU001の速度向上実験が進められた。1987年2月4日、多くの報道関係者が見守る中を、2両連結のMLU001に筆者を含めた3人が乗って、最高速度400km/hを突破し、400.8km/hに達することができた。そして、翌月、3月には最初に述べたMLU002の公開となったのである。

3. 結 論

これまで述べてきたように日本におけるリニアモーターカーの開発は実用化直前の段階にある。図-15に示す絵は、北海道在住の画家が画いたもので、背景にあるのが近代化した札幌市で、このすばらしい都市と郊外の空港（千歳空港）を結ぶにはリニアしかありません、早く建設して下さいということを意味している。日本ではこの1地域のみでなく、多くの地域から要望がだされており、何れが着工されるかは地域の熱意と政治的判断を待つ状況となっている。

筆者は米国のサルター博士が提案された真空チューブ式のプラネットランに強い関心を持ち研究している。

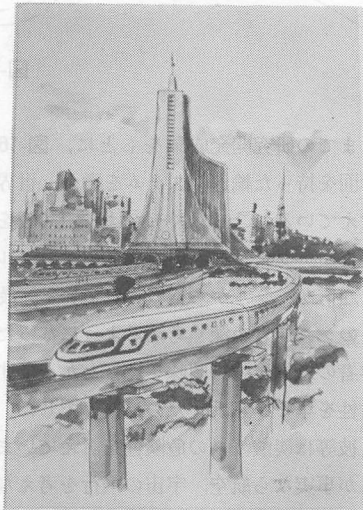


図-15 札幌とリニア

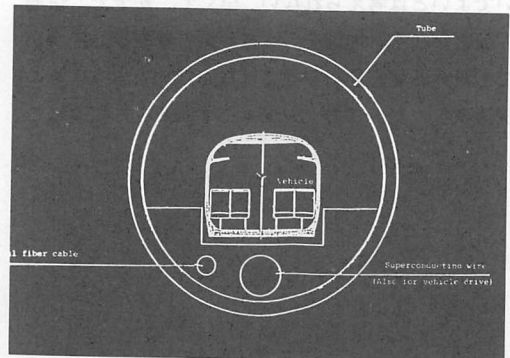


図-16 新輸送システム

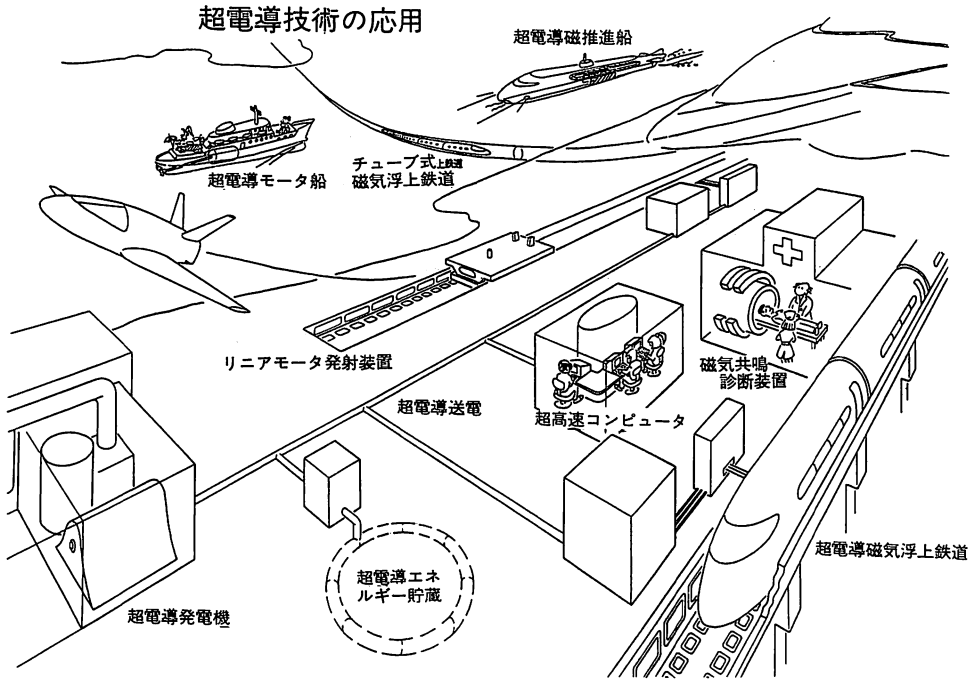


図-17 超電導都市構想

筆者はこれまでの研究開発成果をもとに、図-16に示すような断面を持った輸送システムを考え、世界を結びたいと考えている。このシステムはMLU002を基礎にした真空チューブ式鉄道と超電導送電ケーブルと光ファイバー通信ケーブルから構成されている。最近になって、このシステムを深く考えるようになったのは地球環境学者の意見に強い興味を持ったからです。フロンの危険性を早くから訴えたのは彼等でした。そして、また、彼等は炭酸ガスの危険性を訴えています。もし、それが事実なら航空、宇宙の飛行を考えなくてはならない。しかし、それだからと言って、ある日、突然、飛行を止めるわけにはいかない。では、何もしないでよいとは考えられない。早くて、安全で、快適で、公害がなく、地球を汚さない乗り物を探し、今からでも研究開発を進めなくてはならないと思う。その解決策の1つが、このシステムです。そこで私達はこ

のシステムの意義を第1に「地球を炭酸ガスから守る」、第2に「世界の経済、社会の活性化を図る」、第3に「世界平和を促進する」ことであると考えた。もし、多くの方々に賛成して頂ければ実に幸いである。

1986年に筆者は図-17に示すような超電導都市構想を提案した。これは今後ますます広がるであろう超電導応用の施設、機器の研究開発を容易にし、各種の耐久試験も行い易くするために提案したものである。幸いにして、この構想が実現すれば国際協力の場となり、多くの人々に有益な効果をもたらすことになるであろう。日本ではこの趣旨に賛成され、福島県いわき市をはじめ数県で調査検討を始められたことは実に幸いなことである。超電導磁気浮上列車に端を発した超電導応用は筆者に多くの夢を与えるとともに、1つ1つが年とともに現実になろうとしており、大きな技術革新の時代を招こうとしている。