

◆招待論文◆

21世紀型技術と電気自動車

The 21st Century Technology and Electric Vehicles

清水 浩

慶應義塾大学環境情報学部教授

Hiroshi Shimizu

Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

温暖化対策として電気自動車は大きな効果を持つ。これを実現するために、リチウムイオン電池、永久磁石モーター、高効率トランジスタが要素技術として欠かせない。これらは量子力学の知識を利用して発明され、21世紀に入って実用的に使用可能となった。これに加えて集積台車と名づけられた車体概念を用いると、加速感、広さ、乗り心地の面でガソリン自動車を越える。この技術を使って Eliica と名づけられた電気自動車を開発した。さらに、この技術は自動運転技術と組み合わせることで、新しいコミュニティ形成に資することができる。

An electric vehicle has a potential to solve the global warming dramatically. Lithium-ion battery, permanent magnet motor and high efficient transistor were invented. Those are the application of quantum mechanics and commercialized at the beginning of the 21st century. The integrated platform for an electric vehicle is the useful structure to apply the 21st century technology. High acceleration feeling, space and comfort could be realized by the technology. A super electric vehicle Eliica was developed by using the technology. Electric vehicle will extend to automatic driving to build a new community.

Keywords: 電気自動車、集積台車、21世紀型技術、リチウムイオン電池、永久磁石モーター

1 はじめに

去年の夏も暑かった。多くの人々が地球温暖化への脅威を感じ始めている。2007年の7月に学生336名にとったアンケートでも「脅威だと感じている」と答えた者が92%に及ぶ。

地球温暖化の対策については多くの方法が考えられている。それらを大きく分類すると「政策的方法」、「啓蒙的方法」、「技術的方法」に分けられる。さらに、温暖化の進行の段階に応じた分類として、温室効果ガスの排出を抑えること、出てしまったガスを大気中に放出しないこと、不幸にして温暖化の影響が開始したらそこから逃れる方法を考えることの3点である。

筆者は、この20年近くに亘りその対策ということについて考えてきた。その過程で中心的に検討してきたことは技術的な対応策であり、かつ温室効果ガスの抑制策である。

その理由は現実的にこの問題に対応するとしたら「この方法しかない」あるいは「この方法なら抜本的な解決になる」と考えるためである。

折しも、アル・ゴア氏が「不都合な真実」¹を書いて、世界中にこの問題を喚起した。またIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第4次報告書がまともになり、温暖化の脅威が益々深刻であることが明らかになった²。さらに2007年6月にドイツのハイリゲンダムで行われたサミットでは二酸化炭素の半減についての議論が始められた。

このような情報を受けて、これまで筆者が考えてきた温室効果ガス抑制の方法をまとめる作業をしてきた。その全体の内容は単行本として出版したが³、ここで提起していることは21世紀型技術というものを普及させようということである。

本稿では、21世紀型技術とは何かということと述べるとともに、その代表的な技術の1つである電気自動車技術について述べる。

2 21世紀型技術

近代の科学は、1687年ニュートンが運動方程式を発見した時に始まる。これは、力と質量と加速度

の関係を表したものである。ここから物理学で言うところの力学が発展した。力学は物体の運動を表現する科学である。技術は一般に科学の発展があり、その応用として生まれてくる。力学を基盤とした最も大きな発明は蒸気機関であった。当初、この技術は炭鉱で掘り出した石炭を地上に引き上げるための動力として使われた。そして、それが鉄道用の蒸気機関に発展した。人類は移動のための動力を蒸気機関により得たことで、より早く確実な移動をすることが可能になった。

1700年から1800年の終わりにかけて、電気と磁気の間関係を解き明かす科学が生まれた。それまで存在は知られていた電気と磁気が互いに関連し合っていること、それが一定の法則に従っていることが科学的に説明されていった。これが電磁気学である。

電磁気学が確立すると、その応用も始められた。モーターが発明され、発電機も作られた。電波の存在が確認され、それが無線通信に使われた。そして携帯電話の基本原則も電磁気学にある。力学と電磁気学は少しずつ進化を続け、現在ではその応用製品は社会のすみずみにまで浸透している。

20世紀に入ると、科学者は原子や分子の内部に興味を持ち始めた。こうして生まれてきたのが量子力学である。原子は原子核と、そのまわりをまわる電子とでできていることが分かった。電子は陽子のまわりを回っていることも知られるようになった。そして、あらゆる元素は陽子と電子の数で決まることも分かった。

この知識を発展させると原子と原子の組み合わせでできる分子のことも理解が進んだ。そして、我々が手にするあらゆる物質が分子から構成されており、その構成の違いにより物質の特性も大きく変わることが理論として示された。

さらに光やX線、電波を総称して電磁波と呼ぶが、電磁波と分子や原子がどんな相互作用をするのかも理解できるようになった。これが量子力学である。この科学は1900年から1930年にかけて、その基礎が成立した。

20世紀の後半になると、量子力学の応用技術が数多く生まれてきた。

まず、これを原子の内部に対して応用したのが原子力である。量子力学の中では原子の内部を理解する方が分子を理解するより容易であった。そのため、原子力への応用から始まった。そして、不幸なことにその応用のはじめが原子爆弾であった。このため、多くの人々に科学アレルギーを植え付けたことは事実である。一方で、分子の中味を知ることについてはより複雑であったが、物性物理学という科学領域が開け、20世紀の半ば以降に新しく素晴らしい応用が生まれてきた。

その典型例が半導体である。半導体からは大きく分けてダイオードとトランジスタが作られるが、このそれぞれが20世紀後半の世界を変えることに大きく貢献した。その最も大きな成果がコンピュータを初めとするトランジスタによる情報機器の発展である。現代の情報社会はトランジスタなしでは全く機能し得ない。

さらに20世紀も終わりに近くなって、物性物理学の成果が次々に応用に至った。本稿に関わるものとしては、エネルギーを生み出し、それを有効に利用する技術である。その代表例を挙げると太陽電池、リチウムイオン電池、希土類磁石がある。これらの技術を発明するための理論は難しかった。発明後、製品化するためにも幾多の困難があった。しかし、これらは主に日本の技術者により発明され、かつ技術としての完成まで漕ぎつけることができた。

そして21世紀になった。これからの時代はこれらの技術を広く社会に浸透させる時代になる。

さらにその結果として、これらの技術はエネルギーの問題や温暖化を抜本的に解決してくれるポテンシャルを持っている。しかも今まで以上に世界中で平等にエネルギーを使い、豊かな生活をするができるようになる。

加えて、これらの技術の応用によって交通問題やその他の生活を便利にする技術への応用が可能となり、その結果としてエネルギーや環境の問題に、より確実に対応できることになる。

以上のように量子力学の成果を有効に使った新しい技術と、その応用技術をここでは21世紀型技術と呼ぶことにしよう。

その中で、本稿では電気自動車技術とその将来について、詳しく述べることにする。

3 電気自動車のための基本技術

自動車は車輪を用いて道路上を走行する移動体と考えよう。現在の自動車はそのほぼ100%が内燃機関を動力源としている。これは19世紀に考えられた円筒の中で気化した燃料を爆発させてピストンを動かすという技術を基本原理としており、この技術が20世紀の100年をかけて改良が続けられてきた。その結果、人間にとっては非常に便利な道具として大量に普及するに至った。それにより、人間の生活は豊かになり、物資の移動も豊富になり、移動という新しい楽しさも得た。

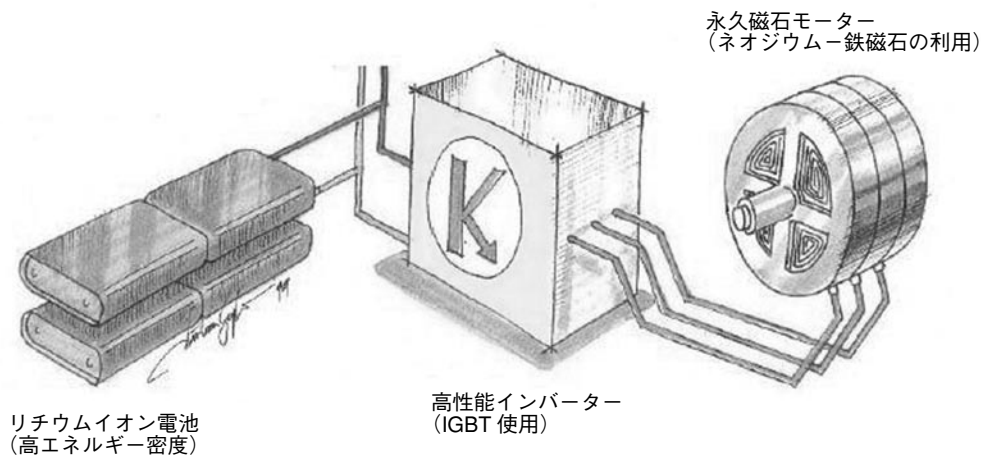
しかし、現在の自動車は環境、エネルギー、事故、渋滞の4つの大きな問題を抱えている。これらを解決することが、21世紀に入りまず求められている。

電気自動車は電池に貯えた電力をモーターに供給して走行する。その速度を変えるために電池とモーターの間にコントローラーが入る。基本的構造は図1に示すとおりである。

電気自動車の概念は古くからあった。しかし、ここで示した3つの技術の性能が十分でなく、大量の普及には至っていない。ところが、21世紀型の技術としてのリチウムイオン電池、モーター用ネオジウム-鉄永久磁石、コントローラー用のトランジスタの一種であるIGBTが実用化されたことによって、新たな価値を持つ電気自動車の可能性が生まれできた。まず、これらの技術を簡単に紹介しよう。

1) リチウムイオン電池

リチウムイオン電池はイオン状のリチウムを陽極と陰極の間に移動させることによって動作させる電池である。酸化コバルトや二酸化マンガンの原子の間にリチウムが取り込まれることと、炭素の結晶の隙間にもリチウム原子が入り込めることが発見され、かつリチウムを含む酸化コバルトや二酸化マンガンは約4ボルトの電圧を持つことが分かった。この現象を利用し、陽極に酸化コバルトあるいは二酸化マンガン置き、陰極に結晶状の炭素を置いて、



省エネ、高性能化、超寿命化

図1 日本でしか開発できない電気自動車のための先端要素技術

これらの間に電解液を注入することにより働かせるのがリチウムイオン電池である。

電池の性能は単位重量別に貯えられる電力量であるエネルギー密度、単位重量当りに瞬間的に取り出せる電力量であるパワー密度が最も重要な性能である。これら2つの性能が従来の鉛電池に比べて極めて大きいことが特徴である。

また、何回充放電できるかを示す値を寿命と呼んでいるが、これについても従来の電池に比べて圧倒的に長い。このため性能としては申し分ない。その他、資源量、大量に使った時の価格、新たな環境問題の可能性などの問題もない。

従って、この電池は携帯電話やパソコン用の電源として使われているが、これを大型にして電気自動車用に使う技術も既に出来ている。現在はまだ少量生産なので価格が高いことが、残されている問題といえる。

2) ネオジウム-鉄磁石

周期律表の下から2段目に希土類という元素群がある。ここに属する元素と、鉄やコバルトなどの遷移金属を合金化すると、これまでとは比較にならない強力な磁石を作ることができる。このような磁石は総称として希土類磁石と呼ばれている。その中で、

ネオジウムと鉄を合金化した磁石が1982年に日本の住友特殊金属によって発明された。

このことによってモーターを小型化、高効率化することが可能となる。モーターの回転力であるトルクは、使っている磁力の強さと面積の積である総磁束に比例する。また、大きなトルクが必要な時にモーターの巻き線で発生する熱は総磁束の自乗に反比例する。これらのことから、強力な磁石は同一のトルクを出すモーターであれば小型化と高効率化を可能にする。

実際に1990年過ぎからこの磁石が市場に出回り始め、2000年を越すころから、冷蔵庫やエアコンなどのモーターに使われるようになり、省エネ化に大きく貢献した。

3) IGBT

トランジスタには多くの種類があるが、100ボルトを越す電圧に耐えられ、かつ数100アンペアの電流を流すことができる高効率のトランジスタとしてIGBTが発明された。これはInsulated Gate Bipolar Transistor (インシュレーティッド・ゲート・バイポーラー・トランジスタ)の頭文字をとったものである。

モーターの速度制御には、任意の電圧と同波数を持つインバーターが使われるが、この中で大電流を

オン・オフさせながら目的の電圧と同波数を作るための素子がIGBTである。IGBTは従来からのトランジスタに比べてオン・オフをする時の損失が少ない。このため、これを用いるとその高効率化が図られると同時に、発熱量が少なくなるため、インバーターの小型化も可能となる。

以上、3つの技術が電気自動車に使うことができる要素技術としての21世紀型技術である。

4 21世紀型技術を応用した電気自動車

電気自動車は電池、インバーター、モーターの組み合わせからなる駆動装置をボディに載せ、ステアリング、ブレーキなど運転のために必要な部品を取り付け、シートとボディを組み合わせれば成立する。形態として最も近いのはラジコンカーであり、ミニ四駆である。

あるいは既存の自動車のエンジンを取り外し、替りに電池、インバーター、モーターを搭載すれば電気自動車となる。このようにして作られる電気自動車を改造電気自動車と呼ぶ。

ところで、車の価値とは何かをまとめると図2のように3つに集約される。1つ目は加速感、2つ目は乗り心地、3つ目は有効に使える空間の広さであ

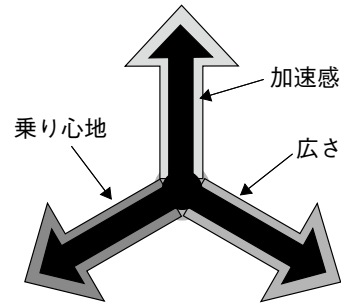


図2 自動車に要求される基本的要件

る。これにデザイン性が加わり、かつ価格当りの3つの価値の大きさで市場に受け入れられるか否かが決まる。もし、この3つの価値で決まる三角形の大きさを電気自動車がガソリン車を越えることができれば、社会に受け入れられる。

筆者らは、それを実現するためにこれまで8台の電気自動車の開発に関わってきた。これらの電気自動車は図2に示した3つの価値をいかに大きくするかが主眼であったが、集積台車と名づけた台車構造を基本にした上で、前節で述べた3つの21世紀型技術を活用することにより、それが可能になると考えている。

この集積台車の概念を図3に示す。また、そこで使われている技術は以下の3つである。

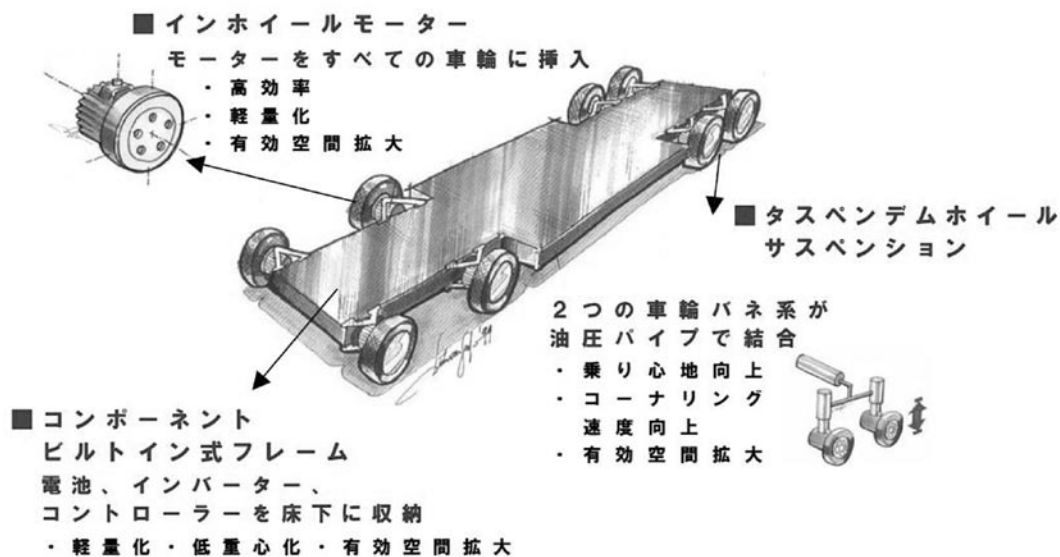


図3 集積台車の概念図

1) インホイールモーター

車輪の中にモーターを挿入し、モーターの回転力を直接車輪に伝える技術である。この技術が成立するためには、モーターのサイズが車輪の中に入る程小さく、それでいて大きな回転力が出せ、かつ高効率でなくてはならない。そのために希土類磁石を用いたモーターを使うことが必須の要件となる。このように車輪の中にモーターを挿入する技術をインホイールモーターと言う。

この技術を用いることの利点は、モーターの力が直接車輪に伝わるため、エネルギー伝達に関わる損失がなくなること、部品点数を減らすことができること、モーターを車体の上に置く必要がなくなるため、車体内部の有効利用可能空間が広がられることである。

2) コンポーネントビルトイン式フレーム

床下に中空の強固なフレーム構造を作り、その中空空間に電池、インバーター等の走行に必要な重要部品を収納する技術である。

車体の剛性を確保するためにフレーム構造がなくてはならないエンジン自動車では、運転席と助手席の間にセンタートンネル、ドアの下部にサイドシル、床下に高さ 6 cm 程度のフレームを取り付けるなどの工夫をしている。

電気自動車はエンジンの力を車輪に伝えるためのプロペラシャフトが必要なく、マフラーを床下に置く必要もないので、床構造を単純化できる。このことを利用して正面から見て中空の矩形の構造体を複数個並べて床構造とし、この中空空間に電池を収納する。さらに前後の車輪の間で座席の脇に相当する部分にインバーター等の主要部品を配置する。これがコンポーネントビルトイン式フレームである。

この技術の利点は電池容器とフレーム構造が兼用できるので車体の軽量化ができること、電池が床下にくるため重心が低くできること、電池がこれまでの車ではデッドスペースであったところに設置できるため車体内の有効空間が広がられることである。

3) タンデムホイールサスペンション

大径の車輪を小径の 2 つの車輪に分割し、これらの間を特殊なバネ構造で接続する技術である。これまでのガソリン車は 4 輪車 2 輪駆動が普通であった。これは 1 つしかないエンジンのパワーを駆動輪に伝達するために最も合理的だったからである。

しかし、電気自動車ではインホイールモーターにすると、車輪数を増やして全輪駆動とすることが可能であり、タンデムホイールサスペンションが現実的な技術となる。

タンデムホイールサスペンションの利点は、乗り心地が良くなること、カーブでの安定性が大きくなること、そして、ホイールハウスが床から飛び出す面積が小さくなるため、車体上で有効に利用可能な空間が広がることである。

以上の 3 つの技術から成る集積台車によって極めて大きな駆動力が得られるため、加速感の良い車とすることができる。床下と車輪の中には主要な要素技術を収納できるため、室内空間も広くとることができる。さらにタンデムホイールサスペンションと重心が低くなることの効果から乗り心地の高い車とすることができる。

これらのことから、主要な要素技術を集積台車の概念に応用することにより、図 2 に掲げた車に必要な 3 つの重要な要素において、ガソリン自動車を上回るすることができる。

5 電気自動車 Eliica

前節までに述べた要素技術と概念を使って試作した車が図 4 に外観を示した Eliica(エリーカ)である。同図のようにこの車は 4 人乗りのセダンである。

この車の基本仕様を表 1 に示す。車のサイズはメルセデスベンツの S クラスとほぼ同じである。モーターは各車輪にそれぞれ約 100 馬力のものが取り付けられており総出力が 800 馬力である。

加速性能はスタートから時速 100km がわずかに 4.1 秒であり 160km までが 7.2 秒である。この性能は市販の最も高性能とされるスポーツカーを凌いでいる。



図4 Elica (エリーカ) の外観

多くの方々にして頂いた試乗の結果、その加速感に関しては一様に高い評価を得ている。

表1 Elica の仕様

寸法	全長	5100 mm
	全幅	1900 mm
	全高	1365 mm
定員	4名	
モーター出力	640 kW	
性能	最高速度	370 km/h
	最大加速度	0.68 G
	一充電走行距離	300 km
	充電時間 (70% 回復)	30 分

6 未来へ向かう技術

21世紀型技術としての要素技術と、それをを用いた電気自動車について述べてきた。ここで示した技術と概念により、ガソリン自動車に置き換わり得る性能と機能を持った電気自動車を実現できることが明らかとなった。

しかも、本稿では詳しく触れなかったが、電気自動車はガソリン自動車の約4分の1のエネルギーで走行可能であり、その結果として二酸化炭素排出と石油消費を劇的に減らすことができる。

このように、21世紀型技術の集大成としての電気自動車を実現すると、残る問題は交通事故と渋滞である。この問題の抜本的解決を考えるとすると、自動運転技術の導入ということが浮かび上がる。自動運転とは文字通り人間が運転をせずに目的地まで移動できる技術である。これで事故が抜本的に減らせるし、車間距離を縮めて車が走行できるために1本の車線で走行できる車輛数が桁違いに大きくなる。これによって、これまでの道路容量はそのまま道路延長を10倍以上に増やす効果がある。

自動運転を実現する技術には3つある。第1には自分がどこに居るかを正確に測定する技術である。これには位置センサーを使う。第2は自分がどこに行こうとしているかを判断するための精密な地図である。第3には前方に障害物があった時に、それをよける技術である。これには障害物センサーを使う。

これらのうち位置センサーとしてGPS、デファレンシャルGPS、路車間通信やジャイロなどの技術があったが、新たにRFIDの利用の可能性もある。

地図情報についてはデジタル化した精密な地図が用いられる。

障害物センサーはレーザーレーダー、CCDカメラ、ミリ波レーダー等の使用が考えられる。

これらの個々の技術も基本は量子力学の成果が利用されており 21 世紀型技術と言える。

このような自動運転技術が完成すると、誰もが、いつでも、どこへでも行けるようになるという点で人間の移動のニーズを最大限に満たせるようになる。さらに、移動時間に何をしてもかまわないわけでこの時間が無駄な時間にならないということについて大きな効果がある。

折しも 2007 年度より文部科学省振興調整費・先端融合領域拠点化形成事業の公募テーマの 1 つとして「コ・モビリティ社会の創成」が採択された。このテーマは新しい概念のコミュニティを形成するために新しい移動の技術を導入することが主目的である。ここで言う移動とは実際の移動と、遠隔的に移動を助ける技術、さらには実際の移動なしに移動したのと同じ効果を持たせるという概念が含まれる。そのうちの実際の移動を行うための移動体として、情報・通信技術の確立の上に、小型で自動的に移動することができる移動体の開発を行う。その移動体の概念図を図 5 に示す。同図で示されるように第 4

節で述べてきた集積台車を超小型化し、この上に乗せる構造体を自由に乗せ換えられるようにすることにより、人間及び貨物の移動の双方に利用可能な機能を有する。

これに、ここで述べた自動運転に必要な機器を搭載し、かつ情報通信技術を用いて他の移動体や、住宅、オフィス等のネットワークを築くことを 1 つの重要な技術として新しいコミュニティを形成することが目標である。

7 まとめ

本稿では 21 世紀型の技術の紹介をするとともにその応用としての電気自動車、そしてその発展型である自動運転技術について述べた。

さらに、このような技術を 1 つの要素とする「コ・モビリティ社会」の研究についての一部を紹介した。

本研究は、まず 3 年間で一定の成果を出すことが求められている。そのために関係者が一丸となって推進を続けている。

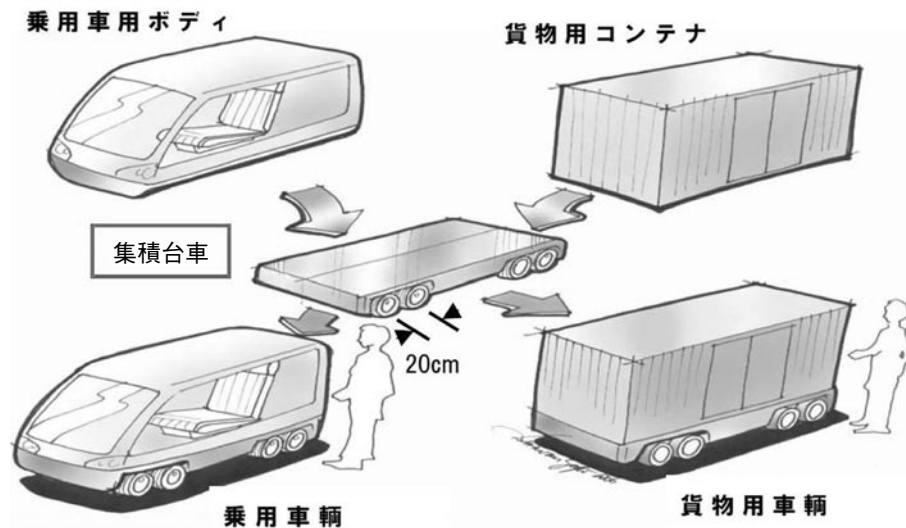


図 5 開発する移動体の概念図

参考文献

- 1 アル・ゴア『不都合な真実』、ランダムハウス講談社、2007年。
- 2 環境省編『環境・持続可能社会白書（平成19年度版）』、ぎょうせい、2007年。
- 3 清水 浩『温暖化防止のために—科学者からアル・ゴア氏への提言』、ランダムハウス講談社、2007年。

