

鉄道システムのモジュール化に関する動向

岩松 勝*

Trend of Modularity in Railway System

Masaru IWAMATSU

Modularity is the technique to set architecture to the relation among modules which are mechanical composition units and to separate an interface and a structure. The author investigated the significance and the value to introduce such technique into the railway system. The author reports the trend of modularity introduced railways system and related fields and states its development in the future.

キーワード：モジュール化，モジュール型，インテグラル型，MODTRAIN

1. はじめに

近年、日本の製造業の国際競争力が低下していることが大きな問題として取り上げられている。日本は1970年代には垂直統合型の産業構造で勝ち残り、特に自動車産業やエレクトロニクス産業は世界を席卷した。その後の1990年代に欧米はオープン化、モジュール化といった水平分業型の産業構造へいち早く転換し、アジアを含めた新興国が製品製造拠点として台頭する一方で、日本は、バブル経済崩壊後の産業空洞化を経ても、製品ごとに最適設計して製品全体の性能を出す、いわゆる摺り合わせ型から脱却できなかつた結果、国際競争力を一気に失っていったと考えられる。日本はそれに打ち勝つために一部の産業ではカスタム化したハイエンド製品を製作し、付加価値を高めた製品を市場に投入したが、顧客の低価格志向を上回る価値を見出すことができず、結局、ガラパゴス化が進行してしまっている。

鉄道産業は他の製造業と比較して内需に特化する傾向が強く、閉鎖的な成熟産業あるいは衰退産業と認識されてきた。日本の場合も、強力な鉄道事業者の下で固有の技術基準を有する独立した産業構造となっていたことから、市場規模が大きくない状況の中で多くのメーカーが存在しており、貿易も盛んではなかった。しかしながら、日本でもボンバルディア、アルストム、シーメンスといった三大製造メーカ（以下、Big3）に対抗するために鉄道技術の輸出拡大に向けたコンサルティング会社が2012年4月から本格始動した。ガラパゴス化した日本の鉄道技術が今後どのように世界の中で闘っていくのであろうか？

一方、地球規模の二酸化炭素排出量の削減といった潮

流の中での環境対策として、あるいは金融危機後の公共投資としての側面から、先進国での鉄道復権が起きている。また中国に代表されるように新興国の経済成長に伴う鉄道建設需要の高まりもあり、鉄道産業は成長産業であると認識が改まりつつあり、日本の成長戦略の一つになる事が期待されている。

現在、鉄道産業において大きな国際シェアを持つ欧州は、各国にまたがる鉄道網をどのように統一化していくかという観点とメーカサイドの思惑から信号システムや車両について欧州統一規格の制定と、欧州規格の国際規格化戦略を進めている。さらに、中国は国策で高速鉄道建設を一気に進めるとともに、自らの技術力も高めて国際入札に参加するなど製造においても世界に進出しようとしている。

本報告では、多くの製造業がオープン・モジュール化を進めている中で、鉄道分野にもこのような手法を導入する意義ならびに価値があるのかを調査した。背景の意味で鉄道産業界の市場規模を説明し、モジュール化とは何かについて論じる。そして、鉄道システムの中でも他の分野と比較しやすい鉄道車両のモジュール化について調査した結果を報告し、今後への展望について述べたい。

2. 鉄道産業界の市場規模

UNIFE World Rail Market Study¹⁾の中で、鉄道における世界の市場動向が分析されている。この市場分析は、経済産業省産業構造審議会産業競争力部会²⁾(2010年2月)の中でも触れられている。図1に鉄道種類別の市場規模予測を、図2に2020年における部門別市場規模予測を載せる。鉄道の市場規模は、15.9兆円/年(2005→2007年平均)であり、2020年までに22.0兆円まで拡大する。このうち、高速鉄道の市場規模は1.6

* 企画室

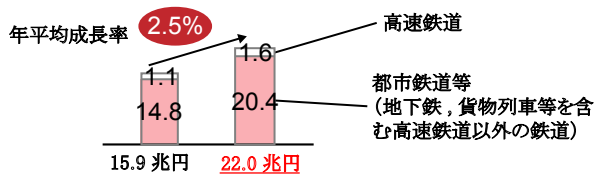


図1 鉄道種類別市場規模の予測 (2007年→2020年)²⁾

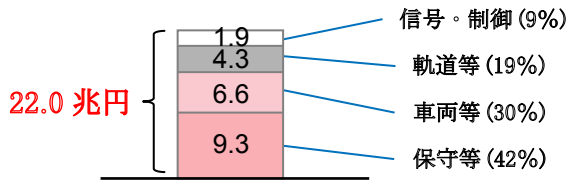


図2 2020年における部門別市場規模予測²⁾

兆円、都市鉄道等が20.4兆円程度であり、分野別では、保守等が9.3兆円、次いで車両等が6.6兆円である。市場規模は西欧、北米、アジアともに大きく、このうちアジア市場が成長率ではトップとなっている。この市場分析に基づけば、今後の主要市場は新興国の都市鉄道と見込まれる。

次に我が国の鉄道産業界の強みと課題について示す。日本企業は信頼性の高いハードウェアに強みがある一方で、車両製造に限ると合計でも全世界の1割程度のシェアに留まっている。これは、コンサル、運転・管理支援等のソフト面の国際展開が遅れており、案件組成段階での客先への影響力や運転・管理等を含めたパッケージでの提案力が弱い事と、海外勢と比較して高コストであるためと考えられる。

海外勢を比較すると、韓国・中国勢は、低コストに強みがあり、Big3はヨーロッパ市場を根拠地にコンサル機能等も活用して強い競争力を有している。Big3は2010年度では交通事業の売り上げがそれぞれ6000億円以上で毎年上昇傾向にあり、営業利益率も4～8%と非常に高い水準となっている。

都市鉄道では技術力の優劣が生じにくいことから、コストがより重要な競争指標になると予想される。特に日本の強みである高信頼性は他の製造業と同様に過剰品質と見なされかねないため、高信頼への付加価値の創出や、運用などソフト面の需要への対応が今後の課題としてあげられる。

3. モジュール化とは

モジュール化とは、「機械の構成単位となるモジュールの相互関係に規則（アーキテクチャ）を設定し、インターフェース部分と内部構造を分離する手法」とされている。モジュール化の有益性としては、システムを構成

する複数の要素間の調整を簡略化することができ、また調整のためのコストが削減できること、モジュール・レベルで独立しているため、システムの改良や改修を個々のモジュールに限定して行えることなどが挙げられる³⁾。このような製品設計の基本思想（製品アーキテクチャ）で製造された製品をモジュール型と呼び、その対極にあるのが、インテグラル（摺り合わせ）型として知られている。インテグラル型とは、自動車に代表されるように部品設計を相互調整して、製品ごとに最適設計しないと製品全体の性能が現れない製品を指している。製品設計を議論する際には、この分類のほかに業界全体でインターフェースが標準化しているオープン型とその対極にあるクローズ型（囲い込み）を組み合わせで議論される。図3、4に製品アーキテクチャの特徴と製品事例を示す。

産業は一次産業、二次産業、三次産業という順番で発展していくことが知られている。インテグラル型とモジュール型の発展についてもアーキテクチャの長期的な流れとしてとらえることが可能であろう。

柴田⁴⁾は、アーキテクチャは長期的に次のような三段階によって発展すると述べている。

- フェーズ1：インテグラルからモジュール化へ向かう段階
- フェーズ2：モジュール化した産業間で、モジュール・レベルでの産業を超えたダイナミクスな統合と組み換えが行われ、イノベーションが活発化する段階。
- フェーズ3：革新的な要素技術の誕生によって、アーキテクチャがモジュールからインテグラルへ逆シフトする段階。

これらを図示すると、図5のようになる。フェーズ1においてモジュール化を加速する要因として3点が掲げられている。第一の理由は、モジュール型はインテグラル型と比較して設計合理性が高いという点である。第二の理由は、製品のライフサイクルコストの変化に応じて、顧客の評価基準が変化するという点である。新製品の初期の段階においては性能が低く、顧客の要求基準を満たしていないため、最適化しようとインテグラル型で進めようとする。しかし、技術が進歩するとモジュール型でも顧客を満足する製品性能を提供することが可能となり、相対的なメリットの大きいモジュール型が志向される。第三の理由は、サプライヤとの効率的な関係を構築するためには、モジュール型が望ましい。技術と市場の変化が激しい今日においては、すべての製品開発を自社内で行うことはほぼ不可能であり、サプライヤの効果的なマネジメントが必要となる。そのなかで、モジュール化することはサプライヤに対する委託業務を簡素化できる。

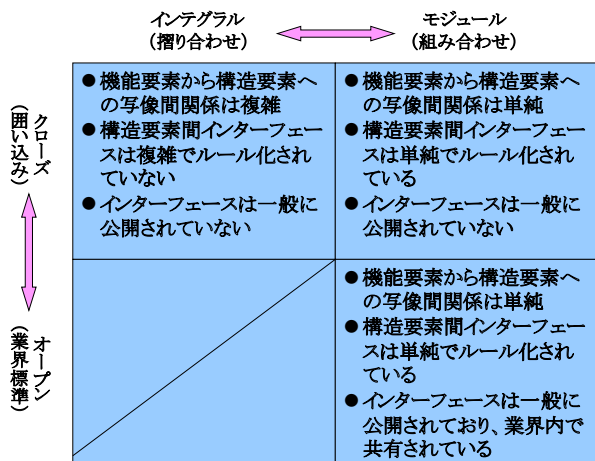


図3 製品アーキテクチャの特徴³⁾

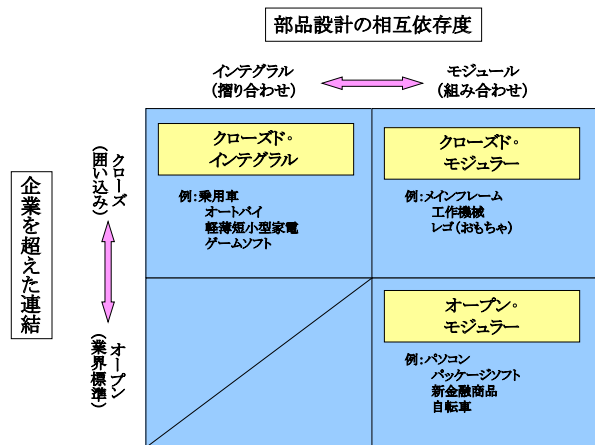


図4 製品アーキテクチャの製品事例³⁾

では、このように多くのメリットがあるにもかかわらず、自動車のモジュール化はどのように進まないのだろうか？これに対しても、柴田は明確な答えを出している。その事柄は、鉄道車両のモジュール化がどのようなレベルで進んでいるかを予感させる。柴田は、モジュール化の進展スピードは図6に示すように組織能力と産業のシステム複雑性のバランス、双方の力関係によると結論付けている。

組織能力については、インテグラルよりもモジュール型を設計するほうが、より高度な設計能力を必要とし、優れたデザイン・ルールを決めるためには高度な組織能力が必要であると述べている。また、産業のシステム複雑性については、モジュール化とは優れたデザイン・ルールの創造によってシステムの複雑性を削減し、複雑性を制御可能にしようとする設計行為である。複雑なシステムほど相互に密接に関連しあっており、部分の特性は必ずしもシステム全体の特性へと直結していない。

これらを勘案すると、エンジン自動車のように三万個以上の部品から構成される複雑な製品の場合には、自動

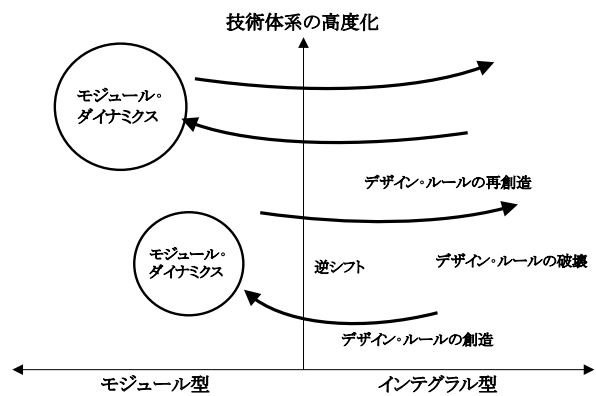


図5 モジュール型の発展⁴⁾

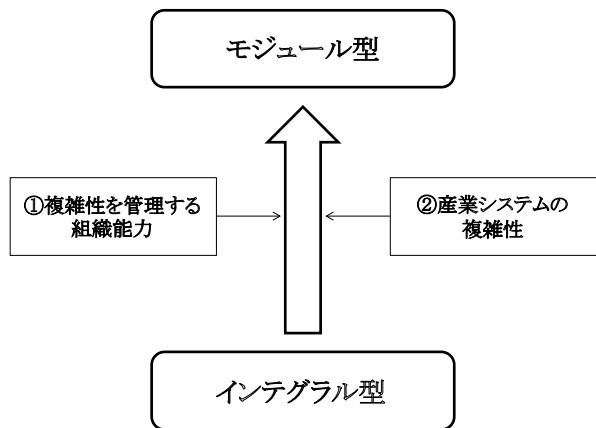


図6 インテグラル型からモジュール型へ⁴⁾

車産業の複雑性が組織能力を超えているため、モジュール化のデザイン・ルールを見出すのが難しいということになる。一方、テレビ産業においては、ブラウン管テレビから液晶パネルやプラズマパネルに転換することによって、部品点数が大幅に削減されて複雑性が減少し、デザイン・ルールが見出しやすくなったということで解釈できる。

エンジン自動車が電気自動車で代わるとどうなるであろう。既にいろいろな方が指摘しているところであるが、部品点数が約1/3まで減少するという理由でモジュール化に転換するといわれている。そうすると、システム複雑性は削減され、組織能力が超えることとなる。鉄道システムは現段階では自動車と同様にインテグラル型であると考えられ、パソコンのような機能と部品が1対1の関係となるモジュール型に移行できるのか否かというのが、今後の注目点である。

4. 鉄道車両のモジュール化の動向調査

モジュール化を議論する上で、鉄道システムの中でも他の分野と比較しやすい鉄道車両の事例について日本と欧州の違いを紹介する。

4.1 国内の動向

車両の標準化について、(社)鉄道車両工業会において2003年に「鉄道車両ー通勤・近郊車両の標準仕様ガイドライン」をまとめている^{5) 6)}。このようなガイドラインをまとめた理由としては、通勤・近郊電車に関して、鉄道事業者が希望する経済的な車両とそれらを生産する車両・機器製造者の要望とを調和させながら実現するため、従来の多種・多様な車両を代表する標準的な車両の仕様を定める必要があり、大都市圏における通勤・近郊電車は、所要の輸送能力を確保したうえで、相互直通運転の拡大や将来のワンマン運転等の導入を視野に入れると、車両の主要な構造及び車両性能の仕様が類似していることが望ましく、また、メーカでは、従来の多種少量生産方式を脱却して、まとまった数量を生産する方式へ変革したいとの要望が高くなったことが述べられている。さらに、大都市圏のみならずそれ以外の事業者も、所期の性能を有する標準的な車両を継続して発注できる仕組み作りが必要となった。このガイドラインでモジュール標準規格としているのは「20メータ 4扉」だけである。後述するが、この点については欧州では機能やインターフェースの共通化を重視し、外見の違いについては趣旨としていない等、考え方に大きな差がある。日本の鉄道事業者向けの場合、構成部品や機器の機能・インターフェースの観点で仕様が明示される訳ではなく、且つ個別の車両メーカが各鉄道会社向けに個別の車両を設計・製造・供給する場合、仕様の標準化の観点では、車体長や扉数のような概括的外観形状しか規格化できないということになる。

一方、自社内モジュールの範疇ではあるものの、日立がA-trainというコンセプトで車両製造を行っている^{7) 8)}。例えば内装自身が自立できるモジュールとして独立に作られ、完成後構体の端部から差し込むようにして取り付けられるようにし、さらに運転台部分や中・長距離列車に必要なトイレなども、別工程で組み立てたモジュールを取り付けるようになっている。また、これは図4の分類上は、クローズ・モジュールになると判断される。

4.2 欧州の動向

2007年5月にERRAC (European Rail Research Advisory Council) によってまとめられた「戦略的研究開発2020」⁹⁾において、車両とインフラの保守のためにモジュール化及び標準化されたインターフェースの適用拡大が示され、これにより欧州鉄道のグローバルな競争力の強化を図ることとしている。背景としては、欧州の鉄道メーカは世界市場に先導的な地位を占めており、2005年の売上は720億€(8兆円)で、今後10年間に1.5～2%の伸びが予想されることにある。

具体的な狙いは以下の通りである。

- モジュール化やインターフェースの標準化による製造コスト低減
- 検査や保守の簡便化によるコスト低減
- インターオペラビリティのための(安全)認証コストの削減
- 欧州の設備統合の簡便化

具体的な狙いの中で示した内容について補足する。

モジュール化の役割の一つとして、妥当性検査のコスト低減がある。バーチャルなテストを導入した新しい車両やインフラ製品に対して、認証コストを下げる必要がある。その際に検査や保守の簡略化が可能であるモジュールトレインが有効であると述べられている。

EUの取り組みとして有名なのは鉄道車両をモジュール化してコスト低減を狙う目的で始められたMOD-TRAINプロジェクト¹⁰⁾である。これは、欧州プロジェクト(第6期フレームワーク)のひとつとして鉄道事業者、メーカ、公的機関、研究機関など合わせて36機関が参画し、2004年2月から2008年4月にかけて検討された。

プロジェクトは高速鉄道、機関車を対象としており、その目的は以下のとおりである。

- システム設計のモジュラリティ向上
- 基盤モジュールのインターオペラビリティ向上
- 構成部品の交換可能性
- トータルのライフサイクルコスト低減

プロジェクトは図7に示すように対象ごとに分かれている。それぞれの子プロジェクトは、ハードウェアの仕様だけではなく、むしろソフト面を重視している。特にそれは、MODLINKのようにインターフェースを求めるところに現われている。また、プロジェクトではすべてをモジュール化することが規定されているわけではなく、一部の部品は競争原理に基づく開発も許容していることが分かる。

今回のプロジェクトの成果は欧州規格であるEN15380 (Railway applications-Designation system for railway vehicles-) に組み込まれており、例えば鉄道システムの構成要素のブレークダウンとしては以下のような原則が記されている。

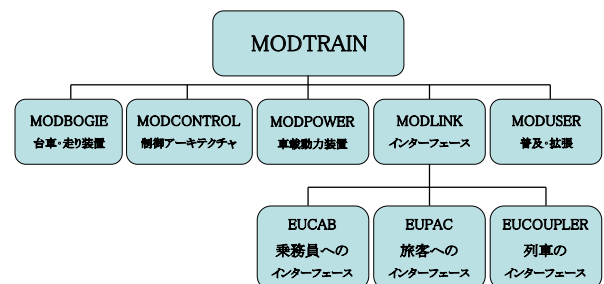


図7 MODTRAINプロジェクト

- (1) インターフェースの構造
- (2) 鉄道事業者・製造者双方の仕様全て
- (3) 入札札の評価
- (4) 車両納入に関する契約合意事項

EN15380のPart.2とPart.4で記載されている製品システムと機能については1対1の対応となっておりモジュール化されていることが分かる。この規格に基づき、アルストム社 Coradia シリーズ等が製作されていると推察される。

5. モジュール化の可能性

PC等に代表されるモジュール化は、先進国では製品価値の飽和（コモディティ化）を招き、同時に製造拠点となり所得の増加した新興国での新たな需要を生み出した。結果的に市場規模が拡大したにも関わらず、日本勢は価格面に対抗できなかつたことから、その新市場へのアクセスを放棄し、内向きの試行錯誤を続けた結果「ガラパゴス化」と呼ばれる状況に至った。つまり、新興国の伸びと先進国での低価格志向の中で、日本の孤立を招いたといえる。

4章で述べた鉄道車両の事例についても、日本は多品種少量生産からの脱却のために標準化を目指したが、実質的には要求の最大公約数である外観形状のみに留まったことから、その効果は外観部の仕様合わせの短縮に凡そ限定された。対して、欧州では多品種少量生産での利益確保というアプローチから機能単位で標準を定めるこ

とでBTO（受注加工生産）あるいはCTO（受注仕様生産）への最適化を見据えていると言える。日本ではメカ毎に標準を定めてBTO・CTOに対応する動きはあるが、国際標準のネットワーク外部性・スケールメリットに対抗するのは不可能であり、遠からず自主規格を国際標準に転換せざるを得ないと予想される。

鉄道分野の産業構造については、経済産業省産業構造審議会産業競争力部会でも議論されており、そこで報告された図に加筆することにより、欧州の戦略を表現したのが図8である。この構造を見るとMODTRAINのような標準化をメカと鉄道事業者が進め、設計や評価法などのノウハウを鉄道コンサルに任せることにより利益を誘導する構図が出来上がっていることが分かる。このような仕組みを作ることにより、中国やインドなどの新興国へ進出した場合にもスムーズにかつ利益を生む構造となっている。それにひきかえ、日本の鉄道産業の構造が非常に複雑であることがよくわかる。

2章で示したとおり、今後の主要市場である新興国の都市鉄道市場においては、コスト競争力の観点から鉄道車両生産も今後、水平分業化していくことが容易に予想される。その際には、ファブレスメカがアッセンブリーメカへ仕様を提示し、安価な部品を調達して鉄道事業者へ納品するといった構図となるだろう。その結果、部品の製造ならびにアッセンブルはコストの安い新興国に集中し、欧州が国際規格に関する認証やコンサルティングを独占し、日本国内の鉄道産業は空洞化する恐れさえある。

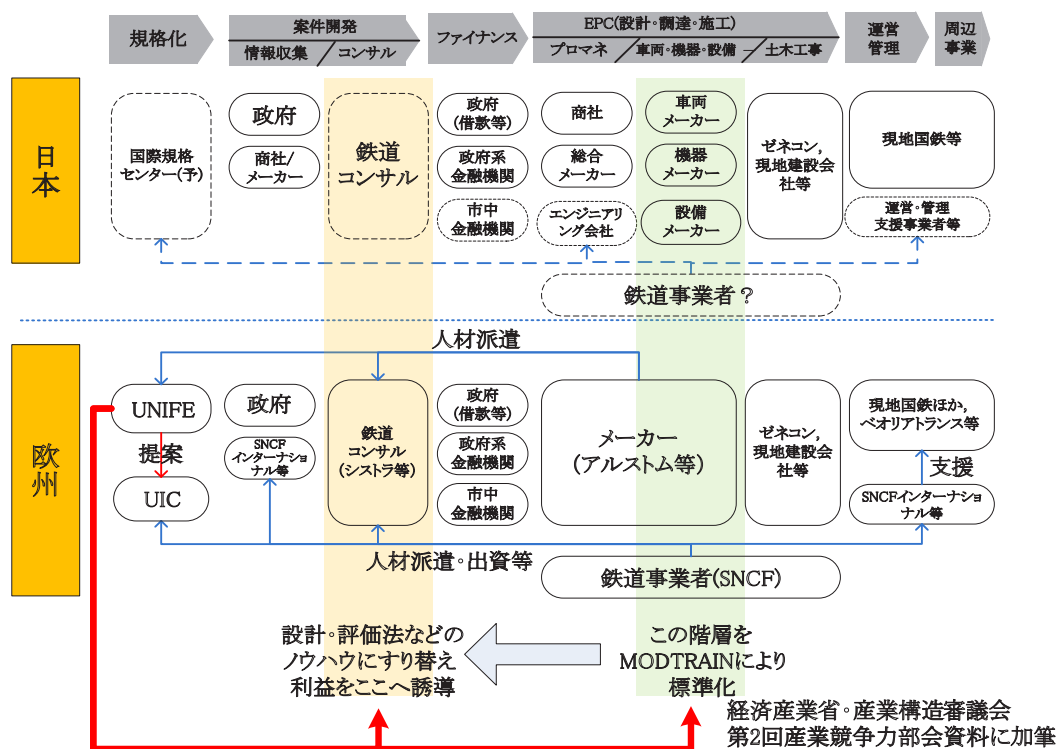


図8 鉄道分野の産業構造²⁾

さらに、PCのオーダーメイドのような感覚で鉄道車両を発注する仕組みは、MODTRAINをうけたBTO方式の車両について、ボンバルディアが既にデモをおこなってマーケティングしている段階であると聞く。繰り返しになるが、他の産業同様に日本の鉄道産業だけが競争力を失う危険性をはらんでいる。

今回の検討の中で明らかになったことは、大きく二つである。

- 鉄道車両製造で言われているモジュール化は、枯れた技術、競争力とまらない技術はひとまとめにするが、各ユニット間の擦り合わせは後まで調整を続けるユニット工法であり、欧米で言われている全体・各モジュール内の仕様、モジュール間のつなぎ方を設計責任者が決め、他の技術者はそれに準拠しておもにモジュール内の開発に専念するものとは異なっている。
- インテグラル型からモジュール型へ移行するためには、組織能力と産業のシステム複雑性のバランスの2つの事柄の力関係による。

今回のいくつかの調査で、車両の製造方法は国内にしても国外にしても大きく変革しつつあることが分かる。前述の通り、モジュール化の定義は、まず、全体・各モジュール内の仕様、モジュール間のつなぎ方を設計責任者が決め、他の技術者はそれに準拠しておもにモジュール内の開発に専念するものであるため、この定義からするとCoradiaにしてもA-Trainにしてもユニット工法的であるという判断となる。しかしながら、部品点数という観点で評価すると明らかに減少している。既に、搭載部品も外部調達しているものもあるという点からも、よりモジュール化が進む可能性を秘めていると感じられる。ただし、配線・配管等、どうしても現場合わせをしなければいけないものも多数残されている点は改善の余地は大きく、人手がかかるところとして最後まで残る部分も大きいと推察される。また、部品自身が共通化されているかという点も必ずしもそうではないので、この点が進捗すればさらにモジュール化が加速するであろう。

一方、モジュール化の事例としてPCや家電製品などが良く取り上げられるが、これらはコモディティ化された大量生産製品である。したがって、鉄道車両のように年間製造両数が限られている場合にどのような市場規模だとモジュール化の恩恵を受けうるのかといった検討も必要である。市場規模の議論は、プラットフォームが構

成されている車種の両数程度であれば十分モジュール化出来ると考えることもできる。

6. おわりに

「はじめに」でも述べたように、中国・インドといった新興国の鉄道需要の高まり、世界三大鉄道車両製造メーカの台頭、日本の製造企業の競争力低下、日本における国際規格への取り組みに対する遅れ(ガラパゴス化)といった問題意識を持ったことをきっかけに調査を始めたものである。製造業は、世界中の部品メーカ、組み立て工場、労働者が苛烈な競争を展開し、ますます生産工程を分割し、地球規模の分業体制で最終製品を組み上げるシステムとなり、仕入れについてもグローバルネットワークを構築する「グローバル・サプライチェーン・マネジメント」方式に移行している。鉄道産業もこのような時代の流れに乗り遅れないようしなければいけない。今後とも議論を重ねて、鉄道産業の進むべき方向性を考えていきたい。

文 献

- 1) UNIFE World Rail Market Study, http://www.unife.org/uploads/100730_WRMS_Exec_Summ.pdf
- 2) 経済産業省産業構造審議会産業競争力部会 HP, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004660/index.html>
- 3) 藤本隆宏:ものづくり経営学, 光文社新書, pp.21-32, 2007
- 4) 柴田友厚:日本企業のすり合わせ能力, NTT出版, pp.57-90, 2012
- 5) (社) 鉄道車両工業会編, 通勤・近郊電車の標準仕様ガイドライン, 2003
- 6) (社) 日本鉄道車両工業会, 鉄車工規格「通勤・近郊電車の標準仕様ガイドライン」の公表について, 鉄道車両工業, Vol.429, pp.30-33, 2004
- 7) 和嶋武典:「次世代鉄道システム構築のための新たなソリューション」, 日立評論 2005.9, pp.9-14, 2005
- 8) 「日立・英国1兆円の野望」, 週刊東洋経済 2010.4.3, pp.48-53, 2010
- 9) 戦略的研究開発 2020, www.errac.org/IMG/pdf/SRRA-2007.pdf
- 10) MODTRAIN Final conference 資料, <http://www.modtrain.com/>