

博士學位論文

車輛用動力伝達機構に関する協働基礎研究のための
効果的推進システムに関する研究

2019年12月21日

青山 明宏

目次

第1章 緒論	6
1.1 本研究の背景.....	6
1.2 車輻用動力伝達システムを取り巻く環境.....	6
1.2.1 自動車産業の動向.....	7
1.2.2 規制動向.....	8
1.2.3 動力伝達システムの役割.....	9
1.3 動力伝達システムの変速機構の変遷.....	10
1.3.1 電動化進展と動力伝達システム.....	13
1.4 本研究の位置づけと目的.....	15
1.5 本研究の構成.....	16
参考文献.....	17
第2章 CVT 開発を事例とした駆動技術と新開発プロセスの提唱	21
2.1 緒言.....	21
2.2 環境変化と技術進展.....	21
2.2.1 社会環境の変化への対応.....	21
2.2.2 ペダルトランスミッションの将来ビジョン.....	24
2.3 新開発プロセスの提唱.....	26
2.3.1 新コンカレントエンジニアリングの概念投入.....	26
2.3.2 プロジェクトに先立つ先行技術開発の施策と実践.....	27
2.4 小型CVTのコンセプトと技術.....	30
2.4.1 衝突安全規制とCVTの小型化.....	30
2.4.2 副変速機付きトランスミッションと小型プーリ.....	31
2.4.3 新シフト作動と制御.....	33
2.5 大型 CVT のコンセプトと技術.....	34
2.5.1 CVT 構造の概念と技術.....	34
(1) 新ベルト技術.....	36

(2) 新チェーン技術.....	37
2.6 結言.....	39
参考文献.....	40
第 3 章 車輛用動力伝達システムにおける油中気泡制御の産学協働研究.....	43
3.1 緒言.....	43
3.2 研究の範囲.....	44
3.3 実験装置および実験方法.....	45
3.3.1 油中気泡の可視化実験装置および実験方法.....	45
3.3.2 金属ベルト式無段変速機(CVT)の変速特性評価.....	46
3.4 結果および考察.....	48
3.4.1 油中気泡の可視化結果.....	48
3.4.2 変速特性評価結果.....	51
3.5 考察.....	53
3.6 結言.....	55
参考文献.....	55
第 4 章 動力伝達システム分野における産学協働研究フレームワーク研究.....	57
4.1 緒言.....	57
4.2 活動の枠組みを設定する為の調査分析.....	58
4.2.1 事業課題に関する状況把握.....	58
4.3 開発プロセス構造の把握と類似活動調査.....	59
4.3.1 開発プロセス構造の可視化.....	59
4.3.2 類似活動との特質比較.....	60
4.4 フレームワークの提案とその評価方法.....	61
4.4.1 活動フレームワークの提案.....	61
4.4.2 活動推進フレームワーク.....	62
4.4.3 研究テーマ発掘フレームワーク.....	63
4.5 活動フレームワークの実践と評価.....	64
4.5.1 評価対象者.....	64

4.5.2 評価方法.....	65
4.6 結果および考察.....	66
4.6.1 活動推進フレームワークの有効性.....	66
4.6.2 研究テーマ発掘フレームワークの有効性.....	69
4.7 まとめ.....	71
参考文献.....	72
第5章 自動車産業に関する産学協働研究の推進プロセスと活動循環モデル.....	73
5.1 はじめに.....	73
5.2 現在の枠組みの事例研究と提案の枠組み導入.....	74
5.2.1 比較研究先の選択方法.....	74
5.2.2 ドイツと日本における研究開発の特徴.....	75
5.3 ドイツと日本の産学連携の比較.....	75
5.3.1 水平分業と垂直統合の特徴.....	75
5.3.2 ドイツ自動車産業におけるコラボレーション活動.....	75
5.3.3 日本の自動車産業におけるコラボレーション活動.....	77
5.3.4 ドイツと日本の産学連携スタイルの違い.....	78
5.3.5 ドイツと日本における産学連携におけるアカデミアの役割.....	79
5.4 枠組みの提案.....	80
5.5 提案された枠組みに基づくコラボレーション例.....	81
5.5.1 協働研究テーマの発見事例.....	81
5.5.2 期待される結果と所見の可視化例.....	82
5.6 コラボレーションの詳細な例.....	84
5.7 結果と考察.....	86
5.7.1 コラボレーションに関する枠組みの有効性.....	86
5.7.2 連携を推進する上での枠組みの有効性.....	86
5.7.3 産業ニーズに対する知見を活用するための枠組みの有効性.....	87
5.7.4 コラボレーションのためのエンジニアリング機能の有効性.....	88
5.8 結論.....	90
参考文献.....	91

第 6 章 産学共創基礎研究推進における技術マネジメントの考察	94
6.1 はじめに	95
6.2.2 イノベーションと活動価値	96
6.2.3 産学官各々の連携価値の違い	97
6.3. 推進システムにおけるツールの提案	97
6.3.1 動力伝達機構のアーキテクチャ	97
6.3.2 V字プロセスにおける学研究領域	99
6.3.3 V字開発プロセスとMBD活用の領域	100
6.3.4 動力伝達機構の MBD	101
6.3.5 データ処理	102
6.4 まとめ	103
参考文献	104
第 7 章 産学協働研究における活動プロセスとその実践	105
7.1 産学官連携活動の概要	105
7.2 組織と事業の概要	105
7.2.1 組織体制	106
7.2.2 設立の目的	106
7.2.3 実用化の方向	106
7.2.4 事業化の目途の時期	106
7.2.5 研究開発の課題	106
7.2.6 研究成果の出口	106
7.2.7 研究と開発システム（プロジェクトの概要）	109
7.3 研究開発の目的	110
7.4 研究開発内容：研究開発の凡例	111
7.5 研究開発内容：動力伝達システムの車輻から要素研究までの階層	113
参考文献	115
第 8 章 結 論	116
謝 辞	117

第1章 緒論

1.1 本研究の背景

乗用車の動力伝達システム（本稿ではシステムの中のトランスミッションを扱う）の動向を俯瞰すると、1980年代まではマニュアルトランスミッションが主体の時代であった。1990年初めになり低炭素社会への要求が出始めた時期と同時にモータリゼーションの普及に従い、燃費と共にイーゼードライブや運転性の要求の潮流が広がってきている。世界の自動車産業では内燃機関の革新と同時に燃費や運転性を作り出す動力伝達システムの中で特に自動変速機の研究が盛んになり、技術革新が市場を広げ、特徴ある形式の変速機が林立する。市場拡大に同期し事業を推進する企業では性能競争に打ち勝つ諸手段が進められてきた。近年さらにCASEと称する車内外の情報連携、自動運転、車の利用形態やサービス、電動化（ハイブリッド・電気自動車）においても動力伝達システムの役割の重要性が認められ性能競争がさらに進んでいる⁽¹⁻¹⁾。

その一方で、車輛に求められる、走る、曲がる、止まるという基本性能を、高いバランスを保ちながら継続的に向上させる必要がある。このため、車輛基本性能に共通の基礎技術領域では企業系列を超え、我が国の研究資源の多くが集中する大学の知見を活用した、産学協働研究による効率的な研究開発が求められている⁽¹⁻²⁾。

日本の特徴的な自動車産業構造は垂直統合型と呼ばれ、商品開発から原理研究に至るまで個社の中で完結しようとする形態を取る⁽¹⁻³⁾。加えて企業間の激しい技術競争、系列による委託と受託関係などのため、協働研究に参画する企業間において利害や目的の一致を図るには課題が多い。この為、産学協働して基礎研究を推進する経済産業省主導の技術研究組合活動においては、2014年時点で全77団体の活動の内、自動車産業に直接関連する活動は3活動に過ぎない⁽¹⁻⁴⁾。また、車輛の開発に携わる開発研究プロセスは、最終製品を製造・開発する車輛メーカー、ユニット開発を行うユニットメーカー、システムメーカー、部品メーカーからなる多層構造となる。そのため、階層の中間に位置する属性が異なる企業では、基礎技術領域における協働研究

の成果が、自社の製品開発に応用可能であるかの判断が必要とされている⁽¹⁻⁵⁾。加えて研究資源を有する大学においても、産学連携は大学がその研究成果を社会全体に還元する有効なシステムでもあることから、活動を通じて大学は研究の価値を明らかにする必要があると言われてしている⁽¹⁻⁶⁾。

しかしながら、従来からの産学協働研究は、産学一対一もしくは同業数社が大学と連携する産学連携プロジェクト活動が主体となっており⁽¹⁻⁷⁾、階層間において必ずしも利害や目的が一致しない複数層の企業が参画する活動はほとんど行われていない。また、車輛ニーズと基礎研究との関係が直接的ではない自動車用動力伝達システム技術領域では、産学協働研究より得られた基礎技術領域での成果と車輛基本性能との関係は明確に関連付けられていない。このために協働研究の継続的な実施には、参画する開発プロセスの階層違いや競争アイテムを有する企業群や学に対して、階層を越えて成果の価値を共有するアプローチの仕組みが必要となっている。

1.2 車輛用動力伝達システムを取り巻く環境

1.2.1 自動車産業の動向

世界の自動車の普及の動向、特に、エマージングカントリーでの伸びが期待されている。自動車用動力伝達システムはエンジンが生み出す出力（トルク・回転）を、運転者の意図や走行環境から最適な走行状態を作り出すシステムで、燃費や運転性を高次元で維持する役割を持つ。この為、世界各国の自動車関連産業ではその要求性能への対応から様々な形式の動力伝達装置であるトランスミッションが開発されている。さらに、近年電動化の潮流においてはエンジンからモータへの駆動力が移行している。一方電動化には動力伝達システムの使いこなし課題も多く、課題解決が新たなトランスミッションの開発競争を引き起こすとみられる。車輛の種類と全需の動向を図[1-1]に示す。2018年には全需が8800万台となり、車輛はほぼ内燃機関を使っている。従い、動力伝達システムも同様に搭載される。2030年代半ばまでは12000万台と増加し、それ以降は、電動車両が進展し、2050年には16000万台にまで増加すると予測されている。内燃機関の増加に対し、動力伝達システムは増加する為、技術進展は計られると予測される。EV時代の到来にあっても同システムは簡素化される一方車両には必要なシステムとなっている。

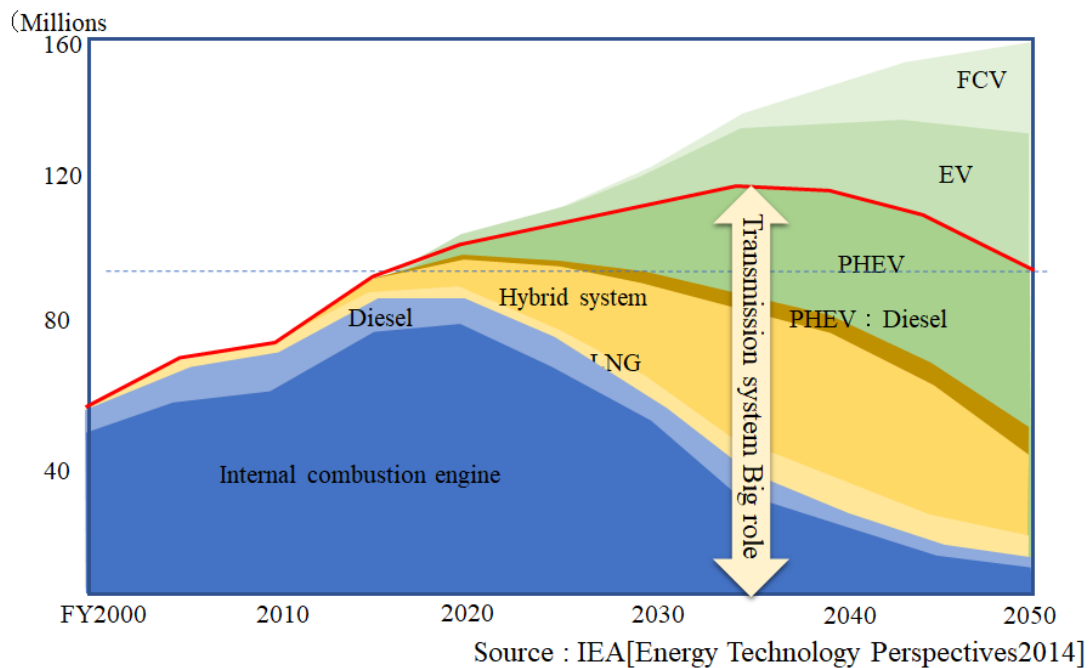


Fig. [1-1]. Global demand growth and Substance Features of transmission (Adoption trend in the world) ⁽¹⁻⁸⁾

1.2.2 規制動向

世界の全需の伸びと同時に、環境性能への指摘もあり、図[1-2]に示すように CO2 emission level は2021年には各国100g/km以下が求められ、事業各社は達成に向けて適用開発を支える基礎研究を進めている。環境性能への影響は内燃機関と同様に動力伝達システムにも訴求され、同事業とする企業では新規開発が進むと予測される。

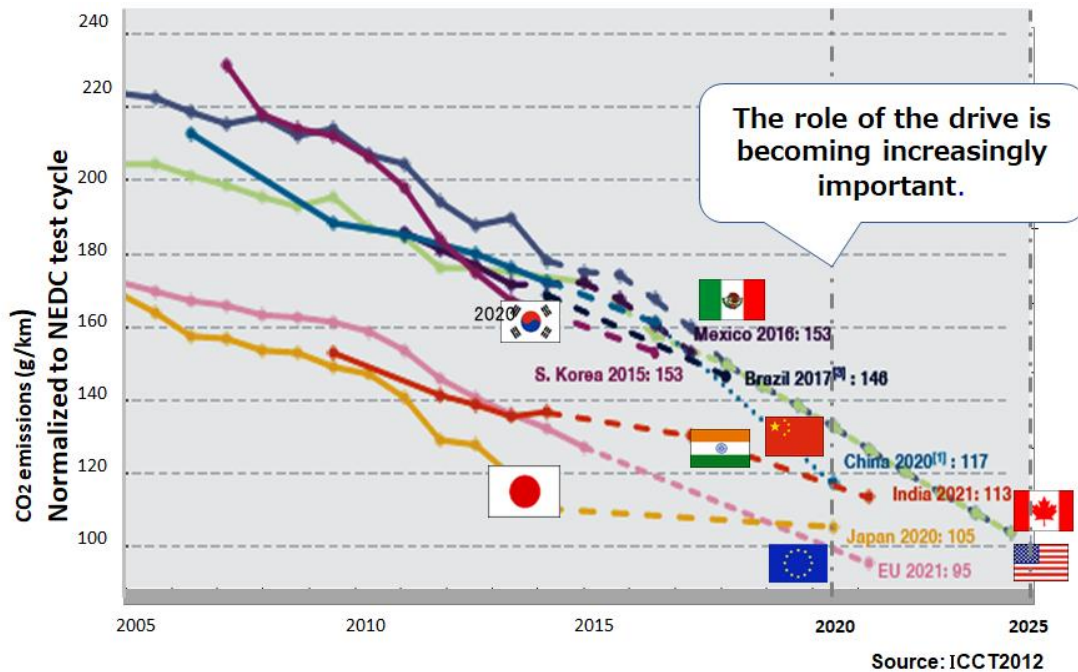


Fig. [1-2]. Trends in CO2 emission regulations ⁽¹⁻⁹⁾

1. 2. 3 動力伝達システムの役割

動力伝達システムは図[1-3]に示すようにエンジンやモータの駆動力や車輛の走行状態からドライバーへ最適な運転状態を作り出す役割を持っている。例えば燃費を重視したエンジン出力を抑えかつ運転に支障のない運転性を保つ制御を行うことや、駆動力を出すことを優先させたよりスポーティな運転状態を作り出すものである。

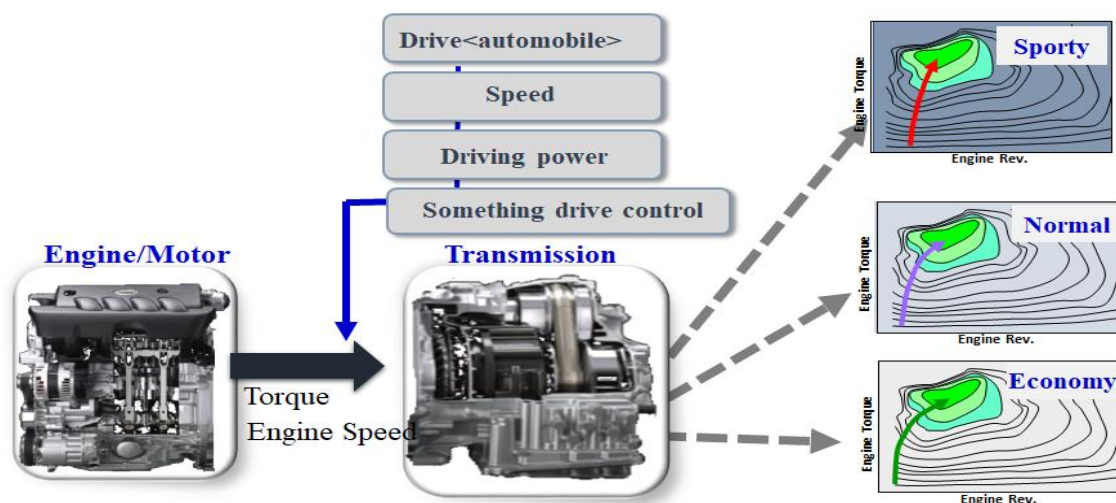


Fig. [1-3]. Make automatic transmissions driving performance of the vehicle

1.3 動力伝達システムの変速機構の変遷

自動車用動力伝達システムは、図2に示すように大別してマニュアルトランスミッションとオートマチックトランスミッションがある。構造的には発進機構（クラッチ，トルクコンバータ），前後進機構（フォワード&リバースギア），変速機構（並行軸歯車・遊星歯車・金属ベルト・・・）減速ギア，差動ギアからなり，自動変速機の種類は主として変速機構と発進機構の違いによるものである。種々の形式のトランスミッションが考案されてきたが，その形式の違いを生んだ理由は機械効率，変速比幅の拡大，搭載性，といった車輛やエンジンとのマッチングや，運転者の好み，車輛の使われ方の違いによるところが大きいとみられる。

それぞれの形式の研究開発が進み，1980年代まではマニュアル（MT）方式が主体となっていたが自動車の普及に伴いイーゼードライブが求められ自動変速機（オートマチックトランスミッション：AT）が1990年代から普及してきており順次図3に示すように各々特徴ある変速構造を持つ動力伝達システムが開発された。初期のMTは入力側のギアと出力側のギアを組み合わせた並行軸方式となっており現代まで幅広く採用されてきている。次に採用されたのは一般的にATと呼ぶ遊星歯車による有段変速方式，さらにMTの変速を自動化したAMT，そして近年は並行軸歯車を奇数段と偶数段に分け二つの変速用クラッチにより交互に変速することにより変速のトルク切れを解消したDCTが特に欧州を中心に普及してきた。有段変速方式はギアによる変速方式は変速段数を増やすと軸長が増すことで搭載性に影響するがそれを解消する形でプーリとベルトによる無段階変速機構を持つCVTが自動車にも採用されてきた。

図[1-4]に示すようにグローバルではそれぞれで改良が続き種類も増加してきた。一方，種別の市場占有状況は世界の動向を見てみると方式別には約半数はMT，そのほかは各種方式の有段・無段の自動変速機となっている。

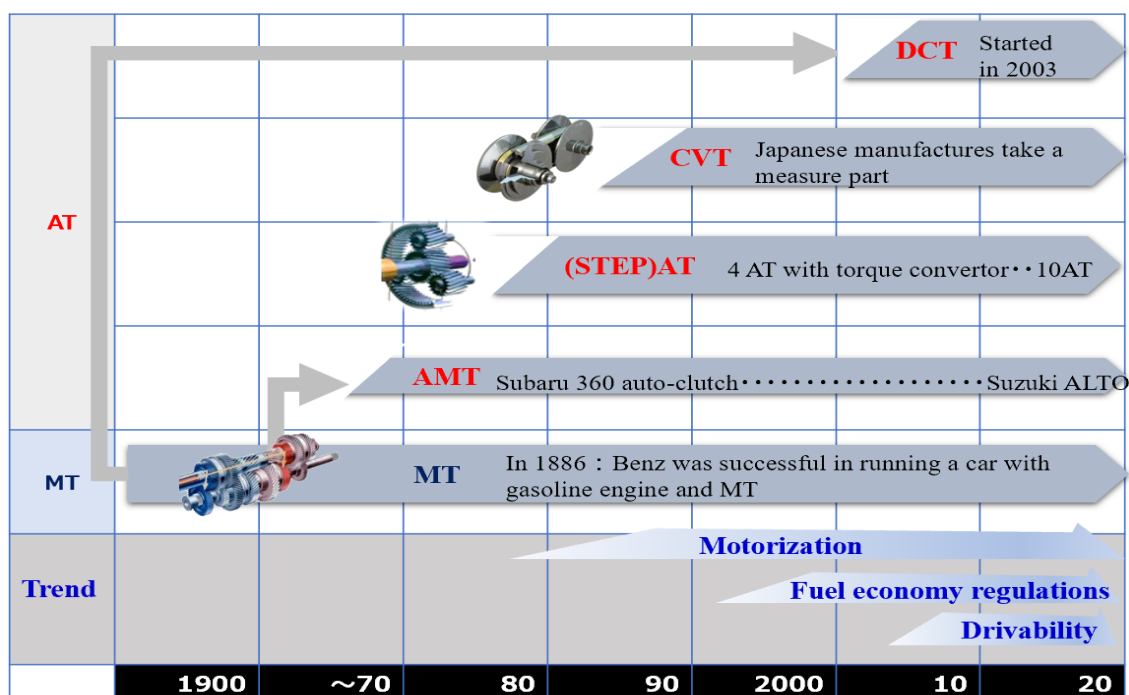


Fig. [1-4]. Trend and Features of transmission (History)

図[1-5]に各種のトランスミッションの種類と構造的な関連性を示している。トランスミッションは大別してマニュアルトランスミッション（以降MTと呼ぶ）とオートマチックトランスミッション（以降ATと呼ぶ）の2種類に大別される。MTは足元にペダルが3つあって、変速に関しては、左足で操作するクラッチペダルとH型に手で動かすシフトノブがある。車が発進したり速度が変わったりするたびにクラッチペダルやシフトノブを動かす必要がある。また、ATはペダルが2つであり、構造の違いによってAMT、(Step)AT、CVT、DCTの種類がある。これらに共通の特徴としては足元のペダルが2つ（アクセルペダルとブレーキペダル）と手で動かすマニュアルレバーがあるが、車が前進方向に走る時は左足と左手はほとんど動かす必要がない。AMTは手動変速機の自動化であり、変速の操作をするためのアクチュエータを手動変速機に増設して自動で変速する。(Step)ATは有段自動変速機と呼ばれ、歯車を使って力を伝え段階的（ステップ的）に変速比を選択する。CVTは無段変速機と呼ばれ、Vベルト式などの無段変速機構を用いて、摩擦で力を伝え連続的（スロープ的）に変速比を変える。DCTはダブルクラッチ式変速機と呼ばれ、構造的には手動変速機に偶数段用と奇数段用のクラッチを持つ。構造となっている。

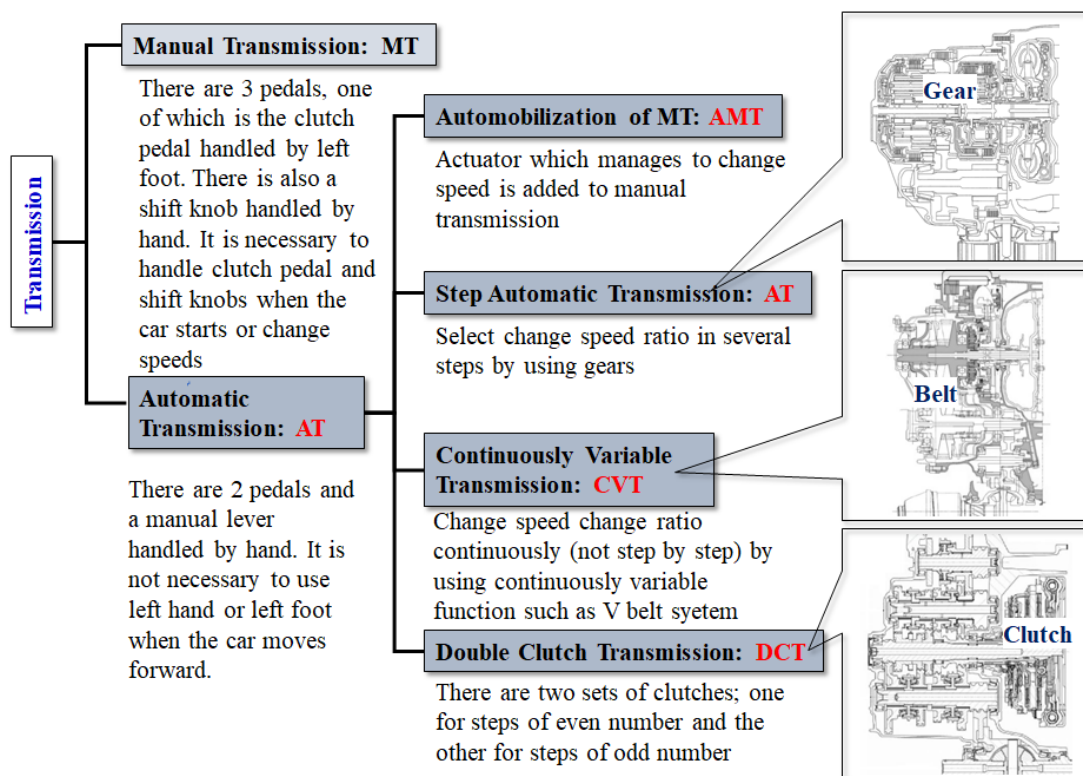


Fig. [1-5]. Substance Features of transmission (kinds and types)

ここでは、自動変速機である CVT の構造を図[1-6]に示している。構造的には 8 つの構成で機能している。①発進機能：車を発進させる機構であり、トルコン・クラッチと呼ばれる。②フォワードリバース交代機能：車を前進・交代させるための切り替え機構。③ギアボックス：変速機構と呼ばれている、遊星歯車・並行軸ギア・金属ベルト・チェーンベルト方式などである。④リダクションギア：エンジン回転の反転とエンジンとタイヤ軸への連結機構。⑤デフギア：タイヤへの動力分割機構。⑥オイルポンプ：潤滑や変速用の油圧油糧を供給するポンプ機構。⑦コントロールバルブ：ギア変速制御の為のオイル分配供給機構。⑧コンピュータ：エンジン・タイヤ情報から最適なギア変速を制御する機構。の構成となっている。

No.	Device	Function
①	Starting	Function to start a car; torque convertor, clutch
②	F/R Change	Function to change the mode from/to back/forward
③	Gearbox	Change function, such as planetary gear function, parallel axis gear, metal belt, chain
④	Reduction Gears	Function to reverse engine rotation and connect engine and tire
⑤	Diff Gear	Mechanism to split power to tires
⑥	Oil Pump	Pump to distribute oil for lubrication and oil pressure
⑦	Valve Cont.	Distribute oil for gear change control
⑧	Computer	Computer to control best gear change based on the input from engine and tires

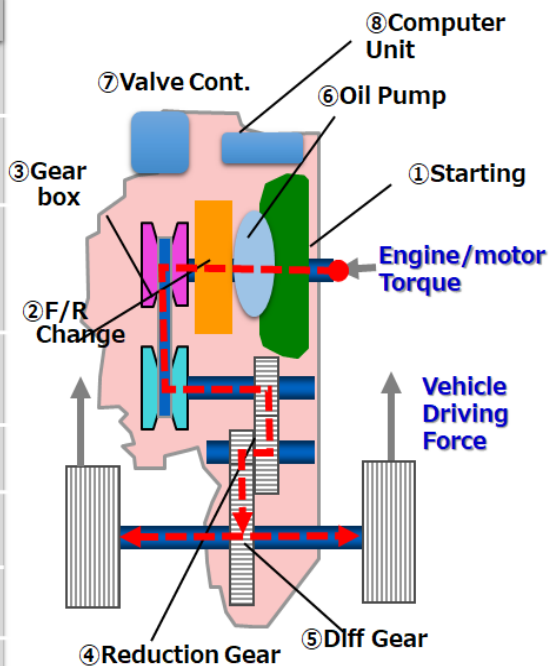


Fig. [1-6]. Transmission structure

1.3.1 電動化の進展と動力伝達システム

動力伝達システムの動向を述べるときに電動化の動向は欠かせない。ここではエンジンの有無を含め電動化は主機としてのモータを動力源としている方式を筆者がまとめたが、図[1-7]に示すようにモータを動力伝達システムのどの位置に配備するかで性能への影響が大きく、搭載性との兼ね合いで配置の研究が進められている。

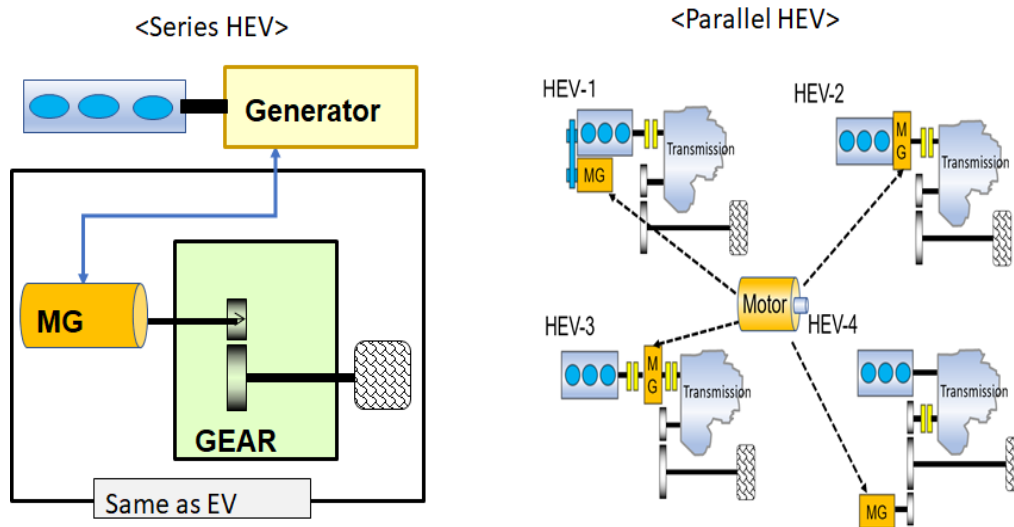


Fig. [1-7]. The motor position is in front of or behind the transmission. Generally, closer to the tire, the power is transmitted more directly, and the transmission efficiency is increased

また、表[1-2]は2017年各国から個別にエンジン付きの車輛の販売停止期限について発表されたアナウンスをまとめたものである。このアナウンスはC O P 21 に同期した低炭素社会実現に向けての政策的な側面もあるが、エンジンが駆動動力源とならない電気自動車（E V）への期待も大きく内燃機関付きの動力伝達システムのみならず電気自動車の普及による動力伝達システムの革新も必要になると予測される。一方、動力伝達システムでは、こうした先進技術のみでなく、走る、曲がる、止まるといった基本動作は変わらず、これに伴う、運転性や燃費効率と言う基礎技術が重要であり、積み上げられた基礎技術はこれを凌駕するには積み上げられた技術しかない。従い、協働研究により基礎技術を積み上げる事こそが我が国における動力伝達システムの領域における産業の底上げに貢献するものである。

Table [1-2]. World trends of electric power: EV shift announcements from around the world

Country (Region)	Announce about EV spread
England	2040 or later, banned the sale of gasoline and diesel vehicles (EV policies after 2030)
France	Aiming at termination of sale of gasoline cars and diesel-powered vehicles by 2040
Germany	Partisan of the Bundesrat's 2030 petrol and diesel sales ban expressed
Norway	By 2025, aiming at termination of sale of gasoline cars and diesel-powered
Netherlands	By 2025, aiming at termination of sale of gasoline cars and diesel-powered
India	30% of EV vehicles traveling the country by 2030
United States of America (California)	Requiring production of vehicles do not emit exhaust gases, such as EV by a percentage(From 2018 HV is exempt, tighter percentage per year)
China	From 2019, EV sales 10% duty with automakers. The year 2020 is 12 percent. New energy legislation vehicle (NEV)

1.4 本研究の位置づけと目的

これら背景から、実態を調査し協働研究開発の質とスピード向上をめざす研究開発のフレームワークを提案することにより、次世代に渡る持続可能な協働研究推進の在り方について研究してきた。

- 1) 開発領域において、我が国の産業内で推進された従来からの狭義コンカレントエンジニアリングでは、世界の技術進展に追いつくことは不可能であることから、改善からのブレークスルーが期待される。このため、企業ドメインの制約を超え、車輛製造、内燃機関開発、動力伝達機構開発を受け持つ企業の専門技術者が集まり、集学的アプローチ（大部屋方式）による開発プロセスのイノベーションを試みた。
- 2) 研究領域まで協働化の範囲を広げ、属性が異なり必ずしも利害が一致しない団体が協働研究を推進するための協働研究アプローチを試みた。研究テーマは油中気泡の発生抑制に関する制御研究を推進事例として産ニーズ（開発）と学シ

ーズ（研究）を繋げるために **Technical data** から **Technology seeds** に昇華させる研究方策およびフレームワークを提案した。

- 3) 協働研究活動の継続性向上をめざし、持続可能な好循環システムの提案とその中核となる **R&D** サービスプロバイダ機能と役割をドイツの産学連携を考察し、我が国に適した枠組みや推進システムの在り方の有効性を確認した。
- 4) 以上の推進システムの産業への応用として、車輛用動力伝達機構に関する協働研究活動「経済産業省・動力伝達システム共同研究組合」成立に至ることが可能とし、研究活動内容を説明することで、その効果を確認する。

1.5 本研究の構成

第 1 章は緒論である。車輛用動力伝達機構を取り巻く環境の変化と技術の変遷を述べている。

第 2 章では、近年開発された自動車用トランスミッションの、小型軽量化、高効率化の技術を生み出した開発プロセスの革新および技術について述べる。従来は開発と製造間での同期開発と言われるコンカレントエンジニアリングがあるが、この開発では、車輛とエンジンとトランスミッションの三位一体での同期開発を行っていることである。我が国の自動車産業の特徴として、それぞれ独立した企業ドメインを持つ中で、異なる企業間において開発同期活動により目標性能を達成した事例である。車輛開発企業とエンジン開発企業とトランスミッション開発企業の企業間におけるコンカレントエンジニアリングの実現を論じる。

第 3 章では、動力伝達システム内における油中気泡の発生の原理と、その抑制制御に関する協働基礎研究および企業開発との連携施策を明らかにする。属性が異なる複数の企業が本技術分野での産学協働研究から得られた **Technical data** を **Technology seeds** に昇華し、研究と開発の連繋を明らかにする。具体的には、車輛用 CVT のシフト特性を改善するために、攪拌オイルの気泡制御研究の車輛への影響を明確化し、技術分野の開発プロセスを可視化する。協働基礎研究の成果を参画企業における開発に投入するための方法論を説明することにより、各プロセスの協働研究の結果を原理側とアプリケーション側の間で共有するための効果的な方法について考察する。

第 4 章では、産ニーズと学シーズを繋げるための研究活動フレームワークについて提案する。動力伝達機構の開発プロセスは、基礎原理から最終製品に至るまで複数

の階層が存在し、シーズとニーズが直接的に繋がる構造を持たないため、ニーズと基礎研究とを結びつける協働研究スキームが必要である。開発プロセスの多層化における協働研究の在り方とニーズシーズのマッチングと、その受け渡しポイントである Technology seeds の在り方について述べることで、活動の企画推進および各社共通の基礎研究テーマを探索する2つのフレームワークを提案する。

第5章では、持続可能な産学協働基礎研究を推進する仕組みの構築と機能として「R&D サービスプロバイダ」の役割について提唱する。日本の自動車産業は、環境への対応と高度な技術開発を促進するために、産学協働研究を求めている。一方、現状では、企業は原理の探求ではなくエンジニアリングの結果を求める。本研究では、産学連携における協働研究活動を推進するための枠組みを検討するため、日本とドイツにおける協働研究活動の状況を調査した。この結果から、まず、協働研究の段階に応じた推進プロセスを設定することにより、研究テーマの発見から業界での活用までを円滑に行う枠組みを提案した。第二に、持続可能な産学連携の枠組みとして、個々のプロセスをつなぐことにより持続可能な循環モデルを提案した。このメカニズムの提案は、車輛用動力伝達機構における油圧制御システムの産学協働研究の実施を通じて効果的に機能することを確認した。また、実践から円滑に活動を推進するために、日本の産学連携活動における工学機能（エンジニアリング）の必要性を検討した。協働基礎研究を持続的に活動するための方策を求め、日本の類似した研究活動や、産学連携が進むドイツの事例を調査した。結果、我が国の事業環境に適した活動のプロセスと循環型モデルを提唱する。

第6章では産学官連携の在り方について推進システム視点から考察する。消費者動向、開発戦略、品質、コストに始まり、開発目標値の設定、マスタープランニング、そして研究課題の抽出をプロジェクト企画段階から必要に応じ構築する集学的体制を明らかにする。この活動は企画段階で想定したQCT（品質・コスト・納期）を実現することで、製品上市と共に開発の質やスピードを改善する活動⁽¹⁻⁸⁾について考察した。

第7章では、本研究の推進システムの具現化とし、経済産業省「動力伝達システム協働研究組合」活動を説明し、本研究の出口戦略までを論じる。我が国の自動車産業では産学官の協働研究開発に関し環境規制や技術革新の観点などから様々な調査研究が行われているが、共創基礎研究をテーマアップする為のマネジメントを技術領

域に関して考察した。研究の成果とし、本論文の作成の源泉となった公益社団法人自動車技術会協働研究センターにおける研究活動について述べる。本活動は 2018 年 7 月に経済産業省「協働研究組合：動力伝達システム協働研究組合」として実活動に至っている⁽¹⁻⁹⁾。

最後に、図[1-8]論文の構成を示す。第 8 章では、第 1 章から第 7 章で明らかにされた輛用動力伝達機構に関する協働基礎研究のための効果的推進システムに関する研究成果をまとめるとともに、イノベーションを創り続けるための将来に向けた課題や今後の展望について述べ、本論文とする。

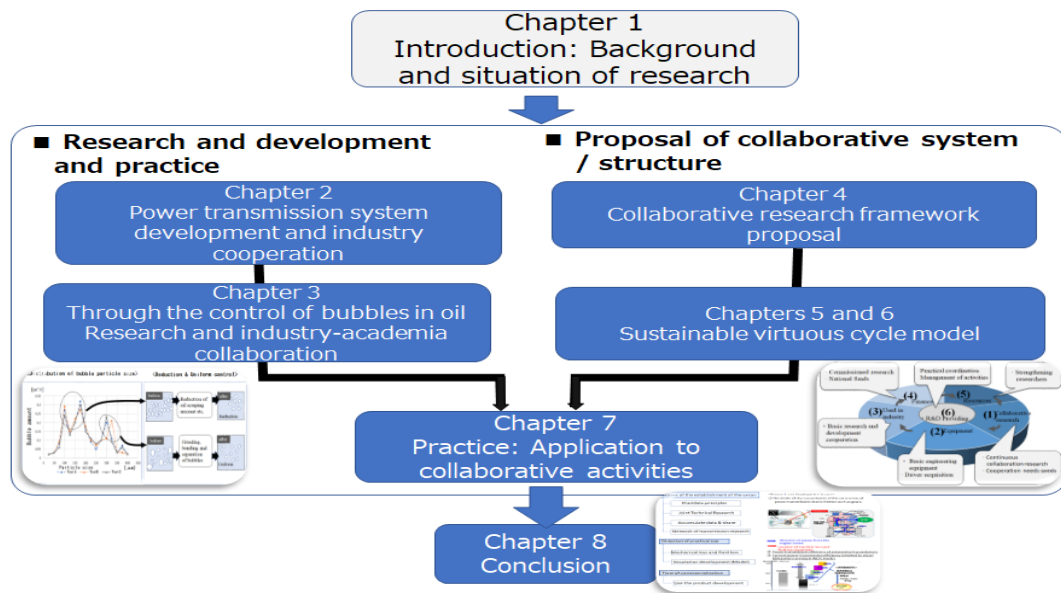


Fig. [1-8]. Composition of basic research papers for collaboration in vehicle power transmission.

参考文献

- (1-1) 田中宗介：自動車産業政策の今後 2017，経済産業省，自動車技術会春季大会フォーラム講演集， p. 14-19 (2017)
- (1-2) 山田道夫：産学連携の現状と今後の展望，高分子， p.218-221 (2000)
- (1-3) 箕一彦：産学連携推進におけるコミュニケーションに関する一考察，研究・イノベーション学会 2014 年年次大会講演要旨集， p.947-947 (2014)

- (1-4) 公益社団法人自動車技術会協働研究センター：産学官活動についての年次報告，
(2014)
- (1-5) 藤本隆宏：能力構築競争－日本の自動車産業はなぜ強いのか，中公新書，
p.294-307 (2003)
- (1-6) 松島克守：MOTの経営学，日経BP社，p. 273-279 (2004)
- (1-7) 藤本隆宏・キム・B. クラーク：製品開発力，ダイヤモンド社，p.4-8, 28-37 (2009)
- (1-8) IEA, Energy Technology Perspectives 2012, p.443
- (1-9) ICCT,14th IEEE International Conference Communication Technology,2012,
- (1-10)中村弘樹，塩幡宏規，川村秀紀：中堅ものづくり企業における技術マネジメント
に関する実証研究，日本機械学会論文集， Vol. 82, No. 833, (DOI: 10.
1299/trans_jsme17-00371) ， p.4-7 (2017)
- (1-11) 公益社団法人自動車技術会春季大会：自動車技術会春季大会G I Aフォーラム
講演集，内燃機関技術協働研究組合講演，材料技術協働研究組合講演 (2014)

第 2 章 CVT 開発を事例とした駆動開発における

技術と新開発プロセス提唱

2.1 緒言

パーソナルモビリティでは、二酸化炭素(CO₂)排出量の削減と手段を通じて地球環境保護を必要としている。このために新型変速機機器で対応することである。これらの市場ニーズは、自動変速機が始まり急速に拡散し1980年代に世界的なユーザーの要求のために運転の容易さを実現する新技術の進展傾向は、より多くの革新が始まった。技術競争に対して3速オートマチックが主流である時期に、様々な新しい型の自動変速機や、同じ期間中に表示される自動化マニュアル化がある。しかし、それは予測した進化の技術到達と予測される制限での将来に向けての複雑な構造体の機器やコントロール制御となってゆく現状がある。A社では、連続可変トランスミッション(CVT)に注目した。ステップギア比がないため、固有の環境性能とスムーズなシフトの可能性を秘めている。CVT製品の拡充に向けた取り組みを通じて、今回CVTラインナップの充実に成功し4つの異なるシリーズから成る新技術を生み出した⁽²⁻¹⁾。活動を通じて、自動車全体は小型化を含む技術革新を急速に進め、電子化やトランスミッションにも同様のイノベーションが必要である。これら新規技術の黎明期では、我が国でそれまでの開発と製造間での連携として普及途上にあつたコンカレントエンジニアリングの考え方のみでは対応できない時代⁽²⁻²⁾となって来ていた。このため、従来のコンカレントエンジニアリングを参考にしつつも新たな開発の仕組みが必要とされていた。企業間の開発を同期させ、協働させる新たな提案⁽²⁻³⁾を行い、実践を通じて仕組みの有効性を明らかにした。

2.2 環境変化と技術進展

2.2.1 社会環境の変化への対応

自動車の市場要求は、従来の運転の容易さに対する需要から急速に多様化し、燃費規制と衝突安全基準、および、より高レベルに伴う電子化車輻機能の投入や協調制御のために燃費対応への変速比幅比率の拡大、小型化車やエンジン改良、そして

全体的な機械効率の向上は、より多くの開発が必須となった⁽²⁻⁴⁾。例えばステップ自動変速機そして自動マニュアル変速機、CVT、ハイブリッドなど車輛の要求に対する多種変速機への変遷を図[2-1]に示す。

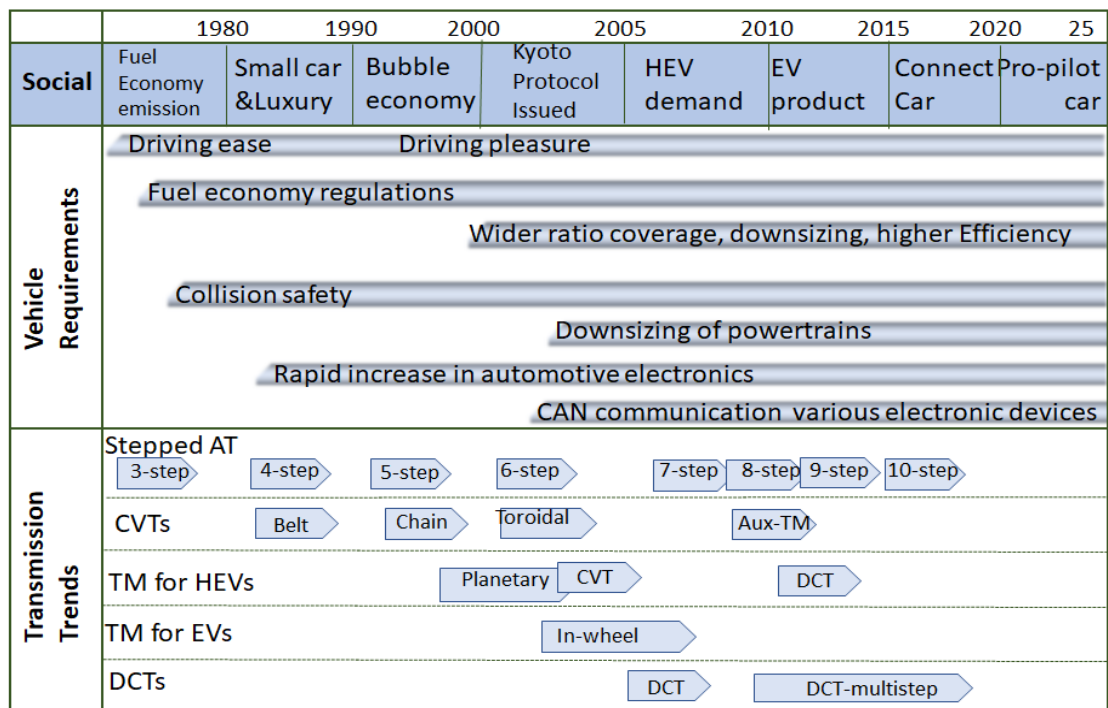


Fig. [2-1]. Trends in 2-pedal vehicle & transmission technology

燃費向上に取り組むためには図[2-2]に示すように、変速比率カバレッジの拡大に開発は注力する。その結果、伝達率カバレッジの要求は継続的に拡大の2000年代初頭から推進され、さらに規制の強いCO2排出量規制で日本、米国、ヨーロッパそして中国においても要求されている。

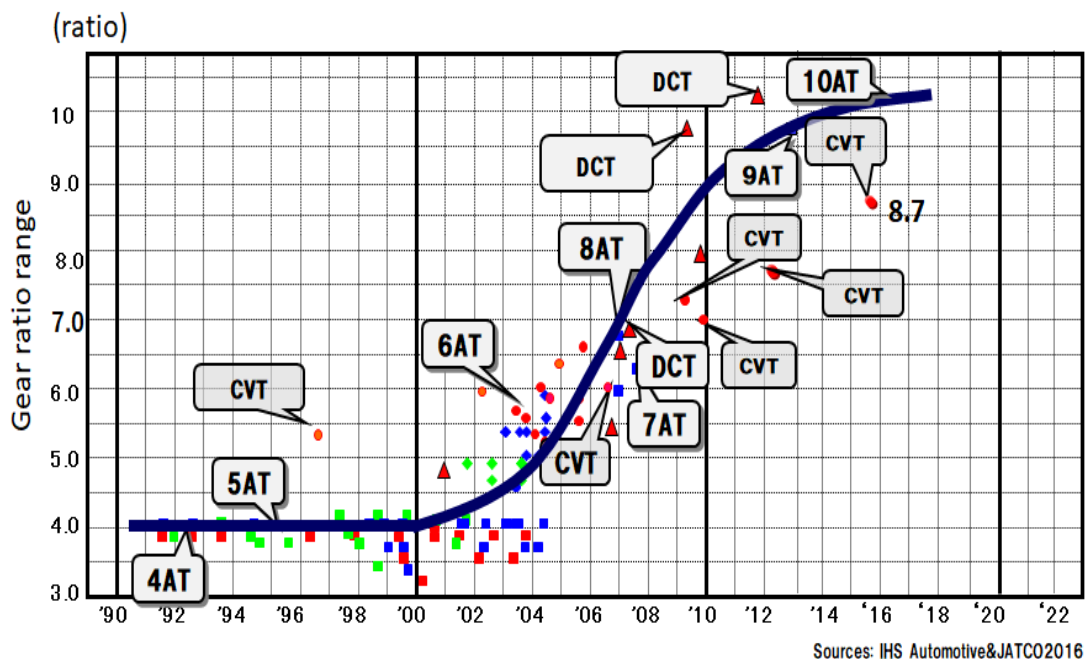


Fig. [2-2]. Fuel consumption regulation and wider ratio of transmission

また、車輛の普及が続き、交通状況が複雑化する中、需要も高まっている。より強い衝突安全基準のための1990年代。パワートレインシステムの観点から見ると、衝突安全性の向上は必然的に同時にパワートレインのダウンサイジングを必要とする車輛のクラッシュブルゾーンの必要性が生まれる。また、車輛がこれらの要件を満たせるようにするための対応の最初の例は、エンジンであり、エンジン排気量は2000年頃から減少し始めている。トランスミッションの伝達比率カバレッジの拡大と同期し、図[2-3]に示すようにエンジン改善であるスーパーチャージの適用によって劇的にエンジンの排気量が減らされた。これら技術の投入により小型化が実現し、ほぼ40パーセント低減となった。図[2-3]に示すコントローラ エリア ネットワーク (CAN)が車載通信として急速な進歩を迎え、自動車エレクトロニクス化や実装の情報技術(IT)の車輛への搭載が実現した。これら技術は必要な伝送能力のために従来の送信速度よりも早く大容量の情報伝達が確保された。単に普通の配線ハーネスを束ねるだけではない技術である。

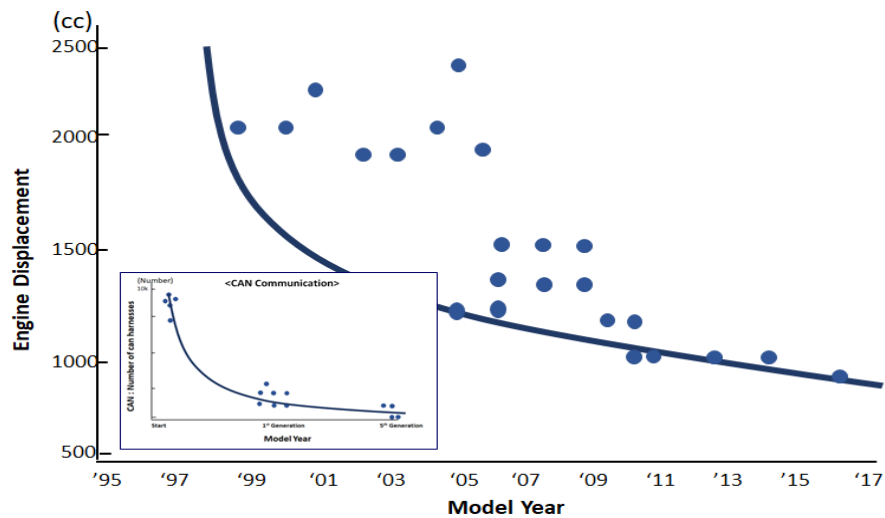


Fig. [2-3]. Trends in downsizing of engines and CAN net work

2.2.2 2ペダルトランスミッションの将来ビジョン

車輻とエンジンの動向など外部環境からの要求により，トランスミッションの開発を迅速に進める必要が生まれてきた．一方，従来のアプローチに沿って駆動伝送技術を向上させるだけで技術が向上すると予測された．当初は構造の複雑さが増すため，将来的には限界に達する予測は従来からあり，コントロール制御の革新の将来展望も期待されていた．当時我が国に普及が期待されていた，軽自動車，小型車，中型車，大型車の4つのシリーズからなるCVTのラインアップへの改革が対象となった．これらCVTシリーズは構造的な相似形を形成しており，全体的な軸長は，1つのインデックスにすることを可能としている．トランスミッションの小型化時では前輪駆動車が対象となっている．全長ではCVT開発済み製品は標準的であったが，一方，現状では4つが束ねられ400mmクラスグループ，そして370mmクラスの小型車グループとなっている．全長が長い前者グループの構造については，370mmクラスの小型を目標として設定している．後者のより小さなグループの長さは，エンジンコンパートメントへの取り付けの容易さを確保するために短い軸長にセットする必要があった．ターゲットは軸長340mm最大値とすることで，日本の車輻の内寸に確実に搭載できる柔軟性を生み出すことが出来る．適用範囲は軽自動車から小型車までである．市場における車輻ラインナップスペック動向から許容トルクバンド対応の設計を狙っている．狙いはCVT搭載の軽自動車そして小型車はトルク容量要件の70から180Nmであり，そし

て使用される車輛も中規模である。また、大型車ではトルク範囲は270から380Nmとなる。ダウンサイジングの標準化をこの2シリーズにより進めることが出来ている。既存CVTモデルで、図[2-4]に示すように、これら二つトルク容量範囲より小さいサイズ単位として将来ビジョン動向からCVTラインナップを設定している⁽²⁻⁵⁾。

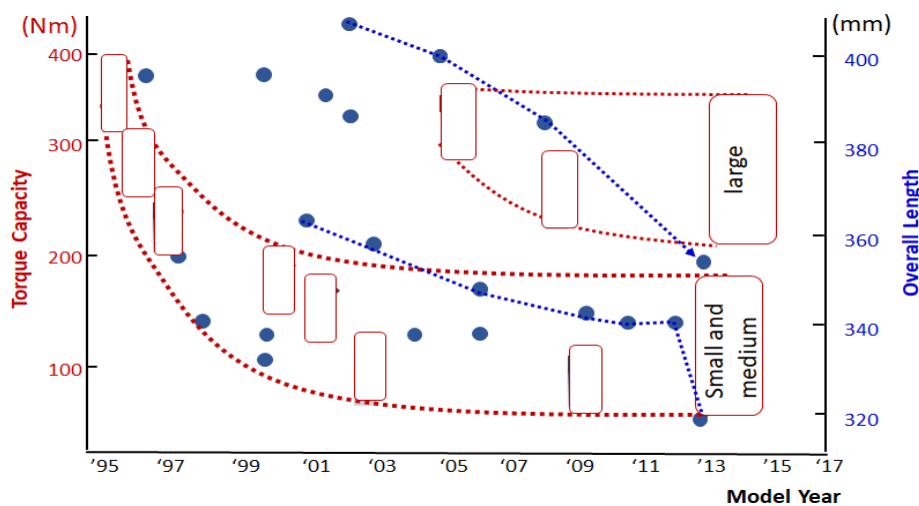


Fig. [2-4]. Target of CVT integration

これら統合戦略の基本的な考え方は、より小型トランスミッションで高トルクを駆動することである。CVTモデルでは、より低いトルク範囲、つまり、ユニットを搭載する軽自動車や小型車であり、先行開発済の広い比率カバレッジを提供する技術の投入である。パワーウェイト比率からこれら車輛については、トルク範囲はユニット使用のため中規模であり、そしてより大きな車輛に適用を計画した。

これらの概念の達成は、単に既存の継続改善でそれらを達成することは不可能である。同じラインに沿った従来の技術の進化やこれら2つの開発コンセプトに基づき、2つのCVTシリーズだけをカバーする様々な革新的な技術を投入した。7倍範囲のトルク容量である70Nmから380Nmとして、劇的に統合する為の技術革新を目指す必要があった。これらは従来の企業内における開発と製造のコンカレントエンジニアリングの延長では成立させることは不可能である。企業間、セクション間を統合した新コンカレントエンジニアリングを提唱することで車輛、エンジン、トランスミッションの三位一体の同期設計を必要としていた。開発された具体的な技術革新については次項で、ま

た、投入された技術は次々項で論じる。

2.3 新開発プロセスの革新

新世代のC V Tの革新技術の成功には従来の延長線にはない開発プロセスの革新を投入した。新型トランスミッションの開発の原資は、企業間における協働開発の仕組みを開発プロセスに投入した。我が国でそれまで活用されてきた生産と開発における同期エンジニアリングを企業間に広げた大規模コンカレントエンジニアリング⁽²⁻⁶⁾を提案し、その実践による革新技術の投入に至ることが出来ている。

2.3.1 コンカレントエンジニアリングの概念投入

2000年初頭には、我が国の自動車産業では垂直統合型開発形態を活用したコンカレントエンジニアリングが進められていた。一方、産業の発展に伴い、欧米の水辺分業型開発との技術競争であった。我が国の動力伝達システムの研究開発では、欧米の技術に追いつくことを視点に新型トランスミッションの革新的な開発にとりくんでいた。従来のシステム内における開発と生産技術間でのコンカレントエンジニアリングの領域から脱し、車輻開発、内燃機関開発、トランスミッション開発と事業主体が独立し、必ずしも利害が一致しない独立企業間を横断する、大規模な3業種一体となった同時開発を提案し実践してきた。言わば集学的なプロジェクト（これを大部屋方式と呼ぶ）を推進し、新型C V Tを開発した。協働開発の黎明期にあたる。

それまで、開発作業は機能別に独立し行われてきたが、本概念の投入により開発プロセスを劇的に変革している。車輻、エンジン、トランスミッションを同時に開発できるように開発プロセス、開発体制の革新に取り組んでいる。従来、自動車産業では一社の中で開発部門と生産部門が同期して開発を進めるコンカレントエンジニアリングの概念である。今回の開発では、カーメーカ、エンジン開発メーカ、ユニットサプライヤの各々独立した企業が関係する専門家を企業の内外から集合し、集学的な開発プロセスを構築して進めている。車輻やエンジンの開発要件をトランスミッションユニットの開発に同期して情報交換し、最適解を生み出す方法である⁽²⁻⁷⁾。言い換えると、企業間、開発、生産技術間の垣根を取り外した新コンカレントエンジニアリングの実践である。図[2-5]にその概念を示す。この概念を取り入れた最初の開発が今回の新型トランスミッションユニットを誕生させた源泉である。その効果

を先行開発期間で評価したグラフが図[2-6]である。

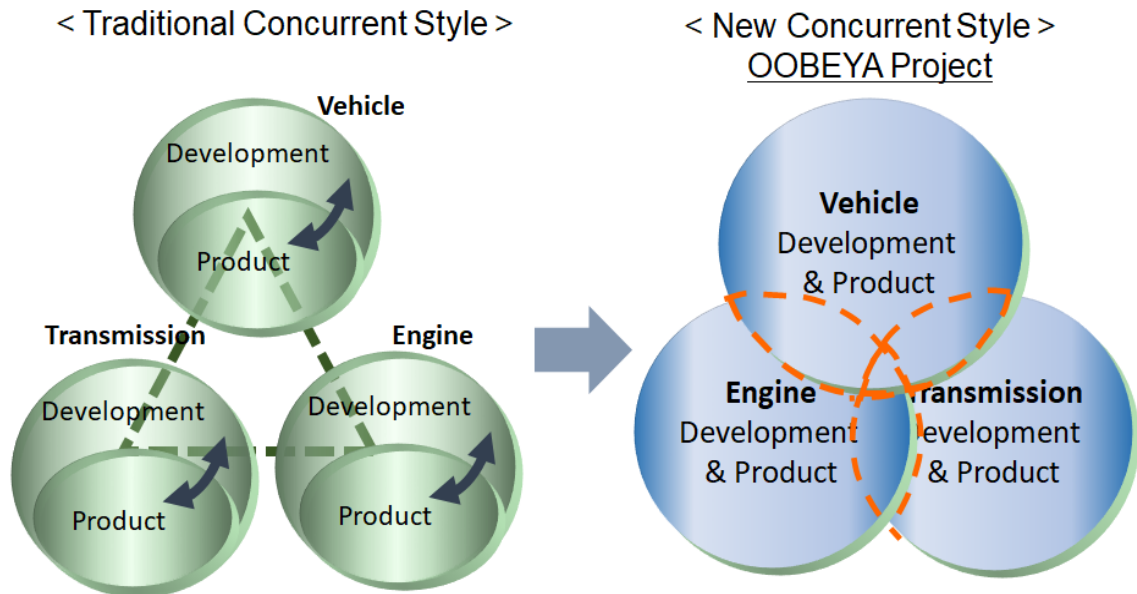


Fig. [2-5]. New Concurrent Style: Transforming the Development & Product Process

図[2-6]は、ほぼ同時期に開発が開始されたプロジェクト開発の期間を比較している。開発規模は両プロジェクトともに構造物変更がトランスミッションの外部ケースの設計変更に及ぶ規模である。凡そ7か月の期間差が生じている。その要因は異なる開発の節目戻りの期間が4か月（▲17%）、部門間の調整ロス3か月（▲13%）であった。

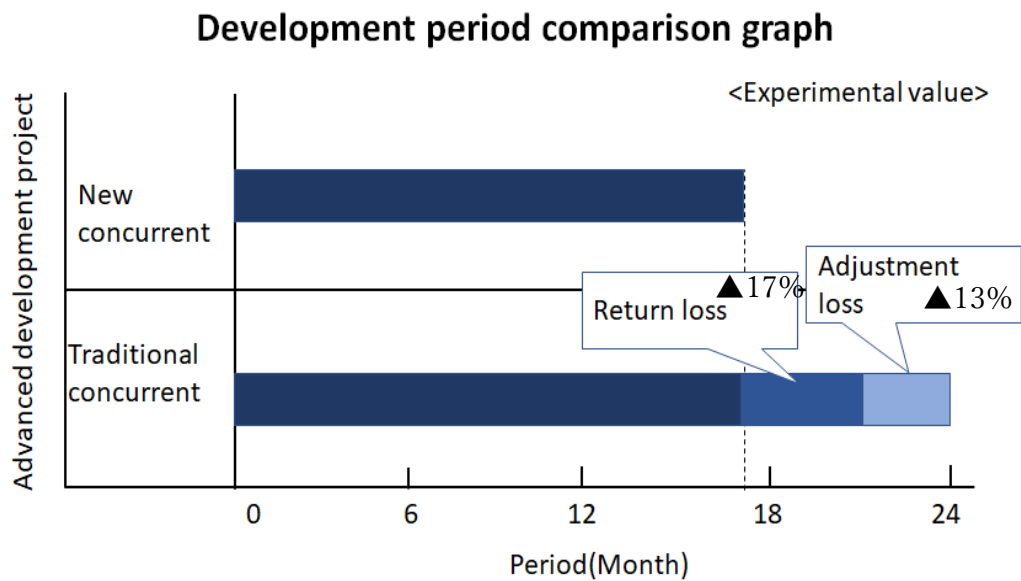


Fig. [2-6]. Development period comparison graph based on old and new systems

2.3.2 プロジェクト活動に先立つ先行技術開発の施策と実践

先行開発の進め方の革新について述べる。消費者動向，開発戦略，品質，コストに始まり，開発目標値の設定とその達成に向けたマスタープランニング，そして研究課題の抽出をプロジェクトの企画段階から決めて必要に応じた構築する集学的体制を明らかにする。この活動は企画段階で想定したQ C T（品質・コスト・納期）を実現することで，製品上市と共に開発の質やスピードを改善する活動について有効性が確認され，第1章で述べた新型トランスミッションの開発の実現に結び付いている。

産学官の活動で協働基礎研究とは，原理現象を解明し成果を参画の各企業の製品開発への役立つ情報（モデルや物理式など）として渡すまでである⁽²⁻⁸⁾。その成果物を製品へ投入するのは個別企業の開発行為という別次元の活動である。

本章では協働基礎研究を推進する際に注意を払うべき視点を技術マネジメントの視点で考察する。

一般的にR & Dと呼んでいる領域ではあるが，開発自体は企業が研究成果で製品への技術として投入する行為であって，産学官連携ではこの領域は取り扱うには法規や知財面などで課題があり取り扱いに注意を要する。

この章では，企業によっては研究フェーズまたは先行開発フェーズといった原理

現象を捉え分析解析し結果をレポートする段階から製品として市場に出すまでの活動を述べてみる。

まず研究活動の開始フェーズにおいては、市場動向や技術動向、企業の立ち位置などから新規開発構想書なるものを作成し、経営上の承認を得ることと共にリソースを確保して、フイージビリティスタディ (F B) を開始するところから始まる⁽²⁻⁹⁾。

図[2-7]に、その研究の開始から製品として市場に出すまでの手順概略を示している。研究開発の節目として技術内容や課題を明確化する為にデザインレビューを行う。近年では、デザインレビューと管理進捗課題を並列で業務を推進する、技術マネジメントに注力されている。

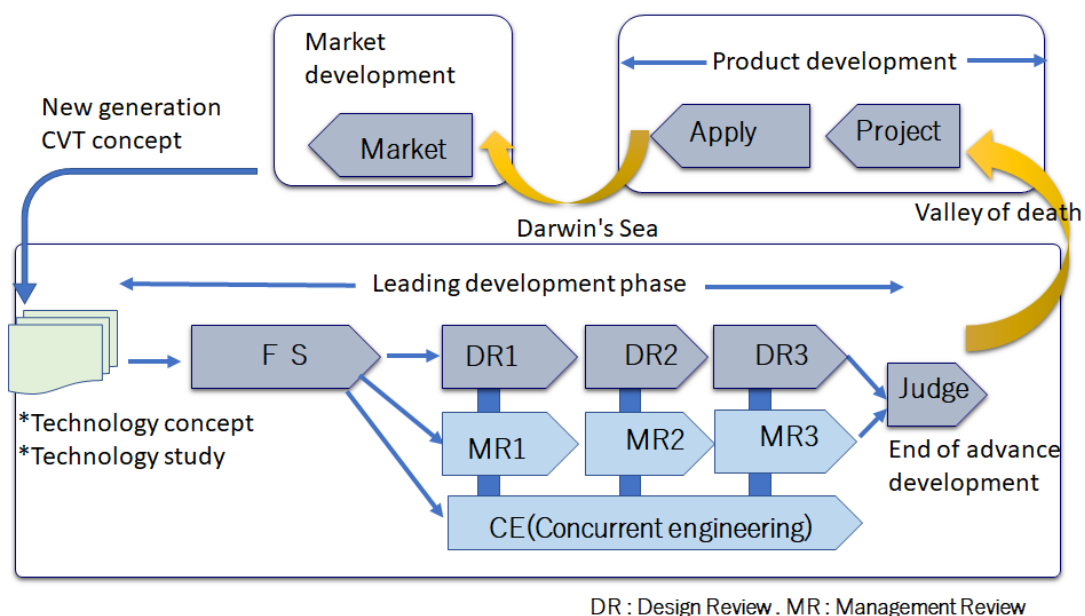


Fig.[2-7]. Advance development steps and management of new generation products.

プラットフォーム（共通した技術ベース）の課題テーマを抽出することが、開発の開始と言える。

企業活動では研究そのものが成果として製品となる事業もあるが、消費財としての製品の観点から見ると性能・機能・Q・C・D（DをT（Time）として表現する企業もある）がその製品としての価値を決めている。研究は性能や機能についての新たな成果や知見に力点を置いているが最近では、ここに企業活動としての視点であるQ C D視点を織り込んでより製品開発から見える（もしくは期待される）活動と

している企業や研究機関が出てきている。ここでは、技術マネジメント視点として QCD性能 (Performance) 機能(Function)は開発を範囲としている⁽²⁻¹⁰⁾。従来多くの企業では研究から始まってその成果が製品開発の繋がってゆく仕掛けが従来から行われてきたが、近年では製品をいつ市場投入するか、また、投入された新技術が競争力を維持できる期間までが経営戦略としてあり、これが企業活動の根幹になる。そこからの逆算計算する。戦略、戦術、戦闘と言う企画開発の節目では、戦略なくして戦術なし、戦術なくして戦闘なしと暗黙の思考法が述べられる。戦略を支えるのがコアコンピタンスと言われるその企業が事業分野で持つ独自の強みである。これを持って時代の先読みした応用研究が次々と製品を生み出し製品の競争力が絶えることの無いように企業戦略を構築する。また、マスタープランについては、新製品の技術競争力が維持できる期間を勘案し、逆算にて製造、開発、応用研究、基礎研究に紐つけた日程を作成することにより、製品の陳腐化を防止するとともにリソース(人、モノ、資金)の調達してゆく。このマスタープランを基に事業活動は成立する⁽²⁻¹¹⁾。概念を図[2-8]に示している。新型トランスミッションの開発における、車輻、エンジン、トランスミッションが異なる企業が担当する際には全社がこの競争力からのリードタイムとリソースの合意がなければ実務としての開始にならないようにする。特段、基礎研究については納期と歩留まりを勘案し、製品性能や機能が時代遅れにならないように注意を払う。このようにして、我が国のコンカレントエンジニアリングを成立させてゆくことで絶えず上市された製品は競争力を維持できているのである。次項からは、この活動の実践によって獲得した新技術を説明する。

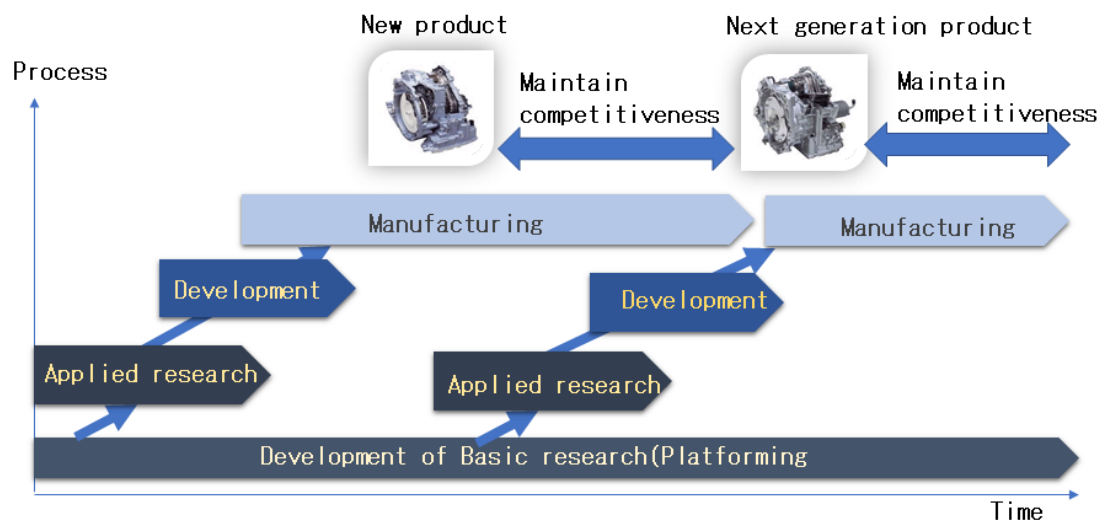


Fig. [2-8]. Lead time concept from a development perspective of New Transmission.

2.4 小型CVTのコンセプトと技術

2.4.1 衝突安全規制とCVTの小型化

欧州，日本では，衝突安全に対する論議が進み，車輛のフロント部に対するクラッシュブルゾーンの確保の規制が進んでいる．図[2-9]に示すように車輛の前方から見ると左右と底辺にメンバーが通っており，この中に内燃機関とトランスミッションを格納する必要がある．また側面から見ると車輛前面と運転者との間に空間を準備し，衝突時の衝撃を緩和する訴求がなされている．従来のCVTでは，次世代の車輛には搭載が困難となる予測が立てられ，その為にも小型化について車輛の開発動向を見定め，その外郭を決定する．

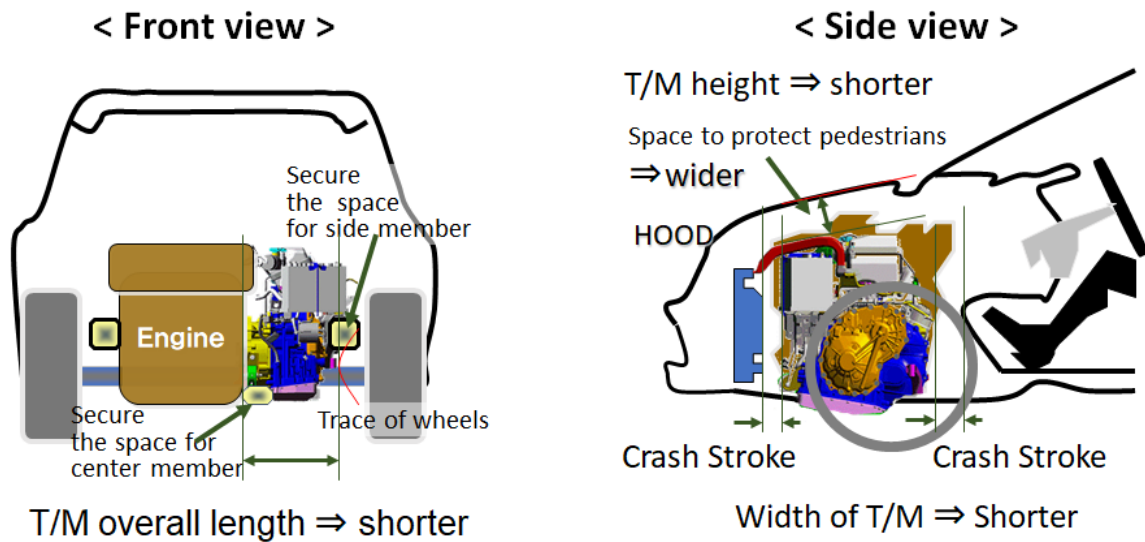


Fig. [2-9]. Trend of New Car Assessment Program in Japan, USA and Europe (NCAP) .

2.4.2 副変速機付きトランスミッションと小型プーリの開発

一般的にそれまで適用されているダウンサイジングに対するアプローチは統合である。例えば複数のストラクチャの構造または制御を1つにする。しかし、新世代の小型CVTの開発では逆のアプローチを提案した。具体的には、図[2-10]に表すようにその大きな体積を占めているベルトプーリシステムに着目している。この従来システムをベースに2速副変速機構を加えることにより全体として軸長短縮や小型化を提唱している。この提案によりプーリサイズをさらに小型化し17%削減し、図[2-11]に示すプーリ表面のテクスチャの改良を実施している。この結果、全長の323.3mmの確保し、そして重量低減では10kg減少させることが出来ている。

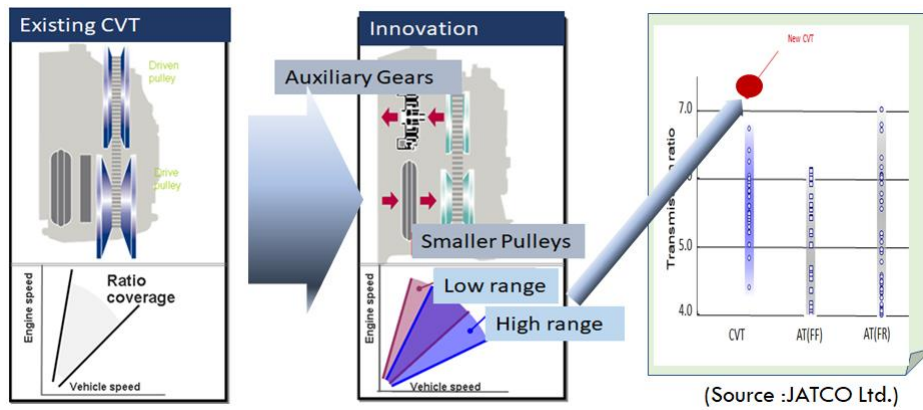


Fig. [2-10]. Auxiliary transmission for compact size(2-12)

同時に副変速機構の組み込みにより，高と低の間の2つのプーリ比パターンを使用することができ，比率カバレッジを既存のユニットの7.0から7.3に拡張できている

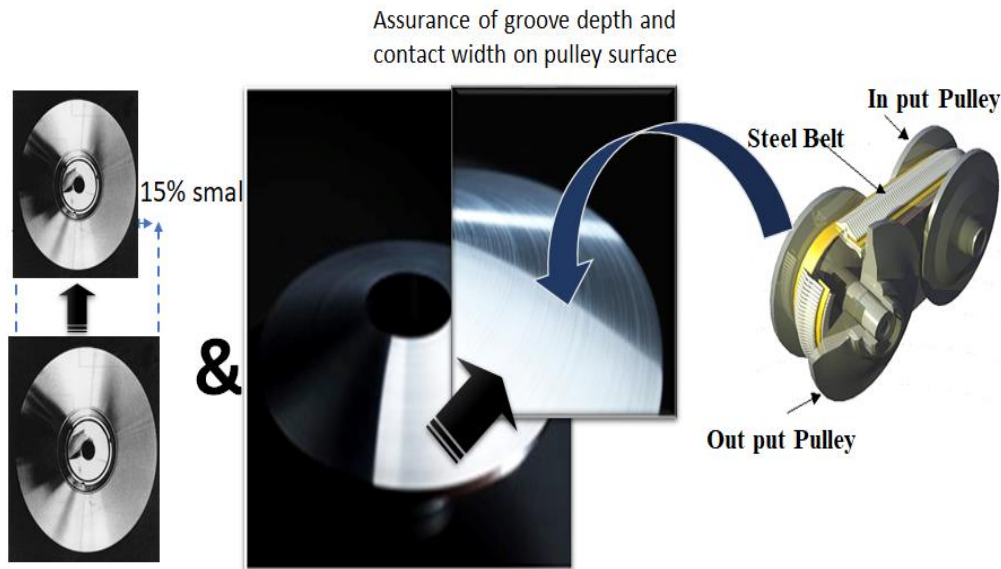


Fig. [2-11]. Downsizing of Pulleys and Assurance of groove depth and contact width on pulley surface

2.4.3 新シフト作動と制御

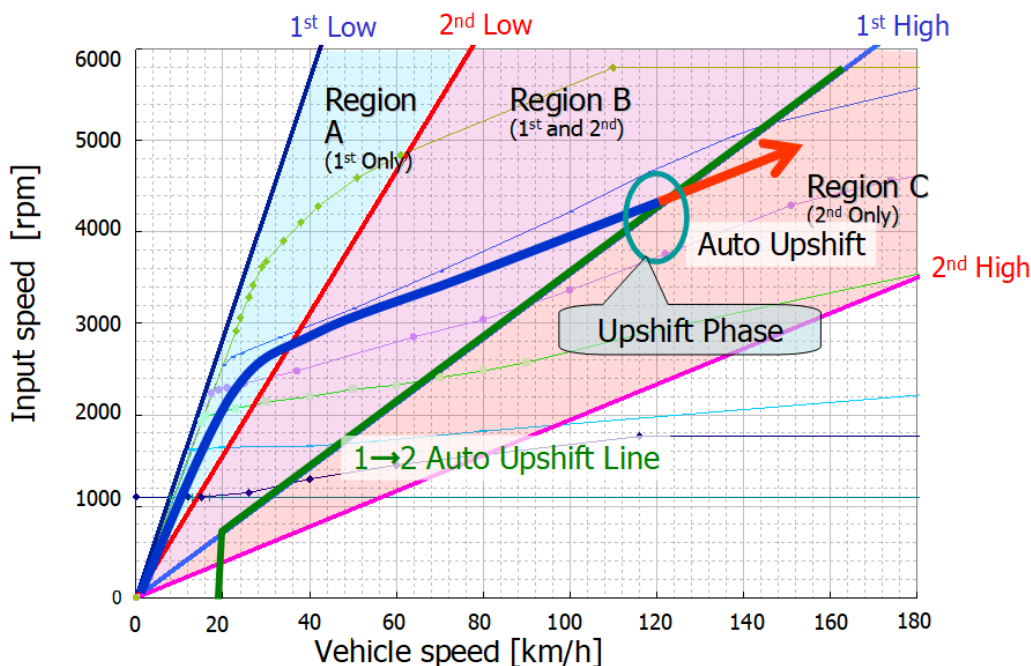


Fig. [2-12]. Shift Control of Low, Middle, High: New CVT concept (2-12)

図[2-12]に示すように副変速機構を搭載することによって低速(Region A), 中速(Region B), 高速(Region C)域でベルトプーリシステムと副変速機構を同期させ切り替える制御を投入している。このシフト機構の特徴は、2つのプーリ比パターンがハイシフト間で可能な事である。各シフト間においてベルトプーリシステムは同期変速が可能とし、補助変速機構によりスムーズなシフトを確保する事を可能とした。このCVTは変速でエンジン回転速度やトルクは必要最適抑制する為の時間同期でのシフト操作による機構を採用している。この技術はJ社が蓄積してきた有段変速機構開発の長い歴史で変速機構付きCVTを成立させるに至ることが可能となった。

これら2つの技術は同期させ組み合わせることで図[2-13]に示す過酷なシフトを防ぐことができた。具体的には、アップシフトとダウンシフトを同期するための制御技術が開発され、最適シフト性能を得るための一定のエンジン速度を維持している。制御システムで計算する目標値やその値から計算するターゲットプーリ比を確保している。また、補助クラッチは、その後制御される油圧によりそれぞれの締結値を加えている。加えて、アダプティブ学習制御への対応構造のクラッチを採用し、過酷なシフト切り替えクラッチ間ではトルクフェーズにより同様に学習制御を投入している。適

用する学習制御クラッチはトルク容量を時間管理によりクラッチエンゲージメントを実施する制御を開発している。

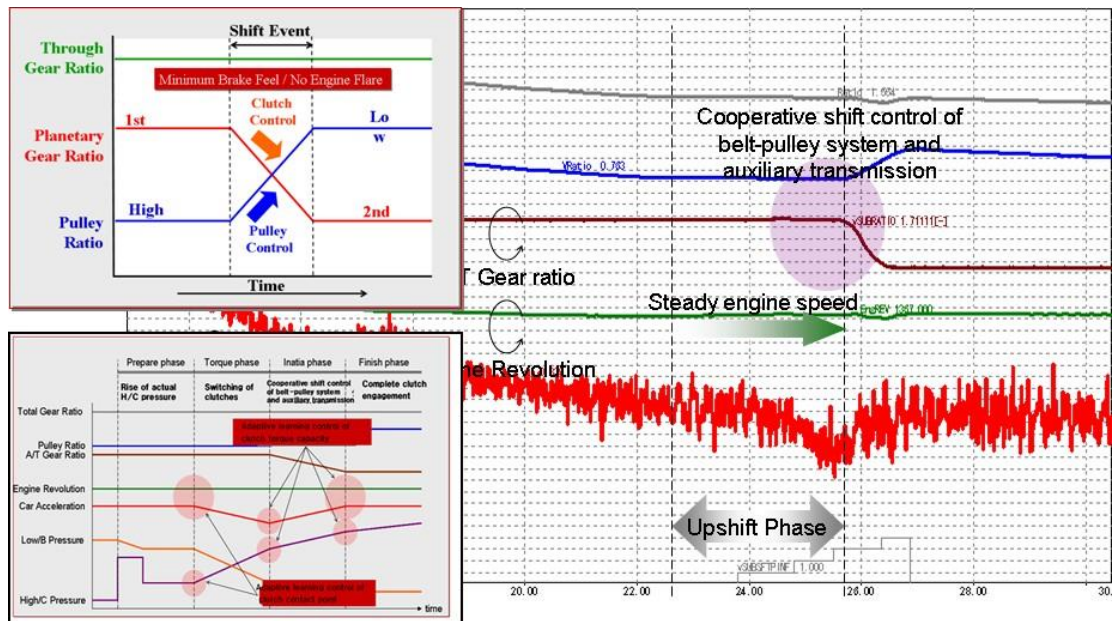


Fig. [2-13]. Innovations in control system technology (2-12)

これらの技術は2009年にリリースされた新ランスミッションに投入され、燃費向上および運転性向上をコンパクトなパッケージで実現する為に有効であった⁽²⁻¹²⁾。

2.5 大型 CVT のコンセプトと技術

2.5.1 CVT 構造の概念および技術

中型車から大型車へのCVTの技術革新に関しては、それまで投入してきた三位一体式の活動を引き続き行っている。同様のステップを使用して、基本構造を踏襲する方式とした。オイル生成するポンプ油圧制御のためのトルク伝送やシフトはプライマリーシャフトで行い、チェーンシステムから入力シャフトは直接エンジンに接続する方式である。この図[2-14]に示すレイアウトは、ユニットの全長短縮を目的として選択されている。しかし、レイアウトを見直すだけで実現できるサイズ縮小は限られる。そのため、技術的な革新である新型ベルトや新型チェーンを採用してきた。

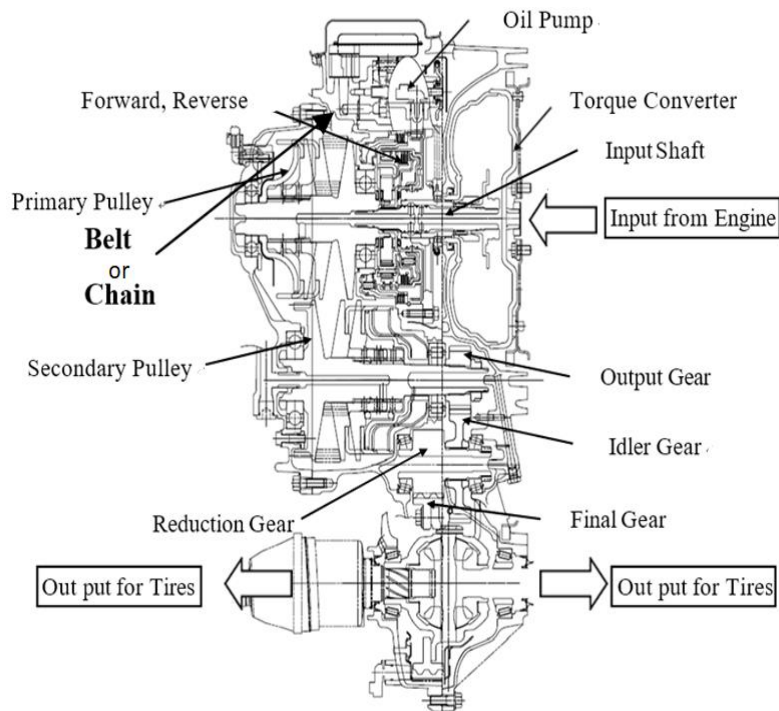


Fig. [2-14]. Main cross section (2-12)

事前の技術動向調査から小型・高トルクCVT部品の新技術が必要と言われていた。新ベルトそして新チェーンで要求される高トルクを伝えることや、小さい伝送損失を実現する必要がある。それは提供可能なドライブシステムのマッチング方法により車輻に装着された新CVTには新ベルトが採用されている。図[2-15]に示すように中型車は2mm狭いより狭幅のベルトを採用し、そして新チェーンは大型車をターゲットとしている。

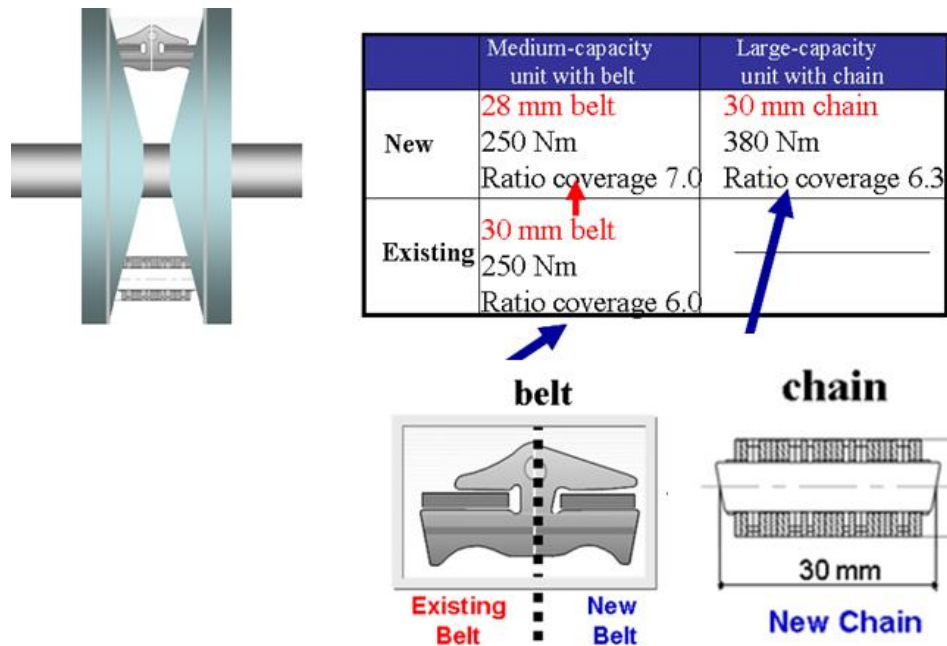


Fig. [2-15]. New belt and new chain (2-12)

(1) 新ベルト技術

新ベルトは、より小さなサイズと機械効率の向上を達成することが目的として開発された。より小さいサイズおよびより低い摩擦の両方がバンドの幅を減らすことによって達成された。図[2-16]に示すように要素部品のシャープネスの最適化が提案され、エレメントのイヤー部の幅をも変更している。具体的には、削減幅限界まで摩擦を下げ、そして、さらに、要素ジオメトリの最適化を実現している。また、望ましいトルク伝達能力を確保しながらの摩擦低減やより摩擦の少ない小さなベルトが開発された。

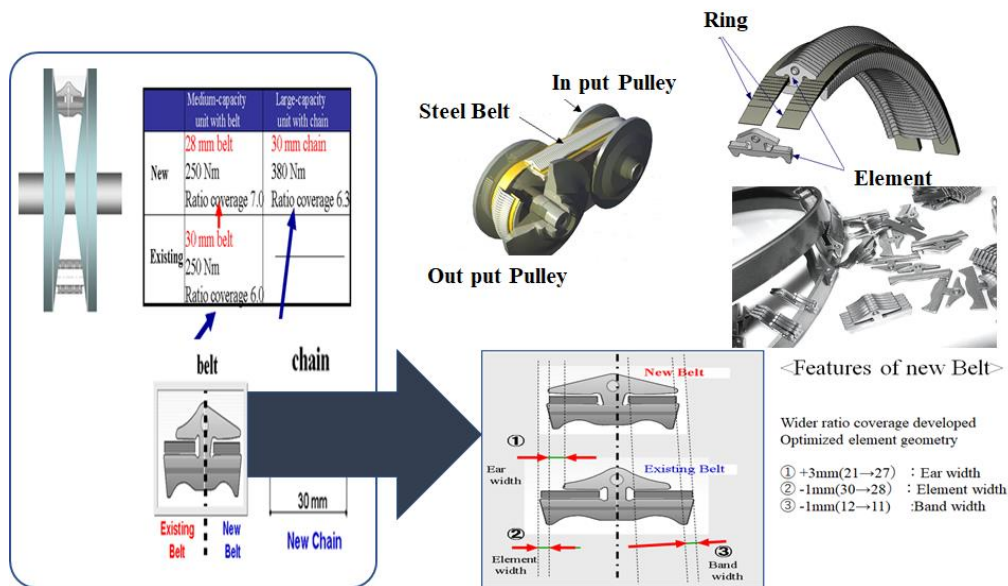


Fig. [2-16]. Key technical features of CVT New belt (2-12)

(2) 新チェーン技術

図[2-17]に示す中大型車に適用するための新しいチェーンは、適用車輻が実際にどのように運転されているかの分析がベースになっている。以前は、クラウン（曲面）着きプリーフェイスを使用することがよく知られていた。車輻、エンジン、トランスミッションの開発と製造技術が同席で設計検討することにより、モデルの統一を目的として、共通のプーリを使用することを目指した。中型車や大型車に共用される。それまで量産してロバスト性能が確保できている真直ぐなプーリ面を採用するとともに、図17に示すようにチェーンのピン端面の形状を再検討し、最適高効率を確保するために開発部門による幾何学的分析を経ている。大量生産による改善する効率の最大化を目指したものである。

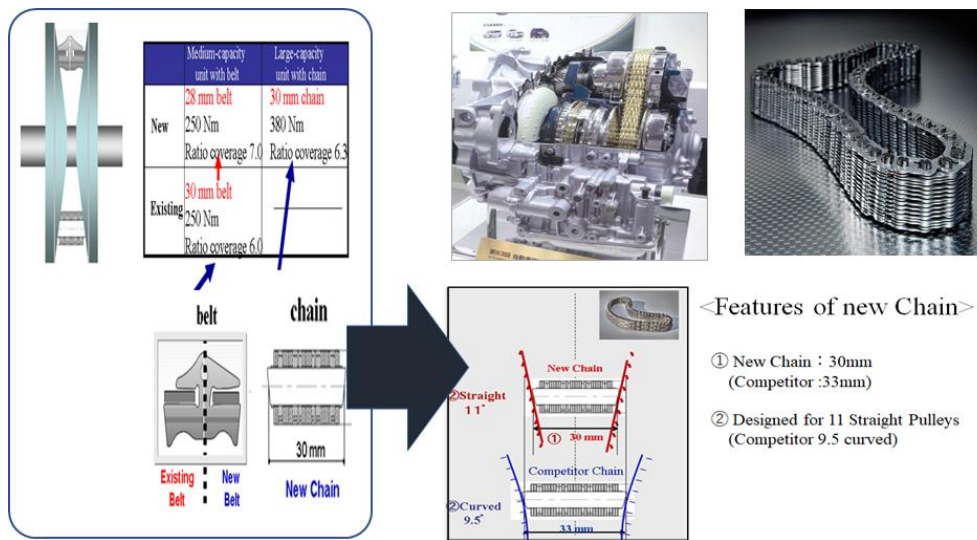


Fig. [2-17]. New chain specification (2-12)

前述の対策により、大型車用新型CVTの全長を30mm削減することが可能となった。効果率は(-8%)、そしてその重量は7キロ(-7%)を既存のCVTと比較し削減している。結果は統一されたCVTモデルのために使用する中型車、大型車の車輻に2012年に新型CVTとして組み込む事が可能となり、これらの新たに開発された技術革新の採用により米国市場に上市することが可能となった。新しいCVTが持つ非常に高い評価はそのコンパクトサイズと燃費の向上と運転性の向上の実現である。

これら説明した技術革新により、新ラインナップが4つのカテゴリにあるトランスミッションは2つのシリーズに完全に統合が可能となった。表(2-1)は軽自動車や小型車などから中型車から大型車に至るまで使用できる新型ユニットの性能値比較を示す。図[2-18]は可視化している。各CVTシリーズは技術革新に基づいて確立され、新世代CVTのラインナップを構成した。2011年には乗用車の77パーセントに適用されたグローバルCVT市場が誕生し、発展型としてハイブリッドモデルへの広がり期待されている⁽²⁻¹³⁾。

Table [2-1].Specifications of new CVT (comparison between new and current)

	<Up to 180 Nm>			<Up to 380 Nm>		
	Existing CVT	New smaller	Difference	Existing CVT	New Middle	Difference
Overall length	354.7	323.3	-9%	386	356	-8%
Weight(kg Wet)	72.8	62.5	-14%	103.5	98.5	-5%
Distance between Pulley Shafts	156	147	-6%	178	173	-3%
Ratio Coverage	6	7.3	+22%	5.4	6.3	+17%

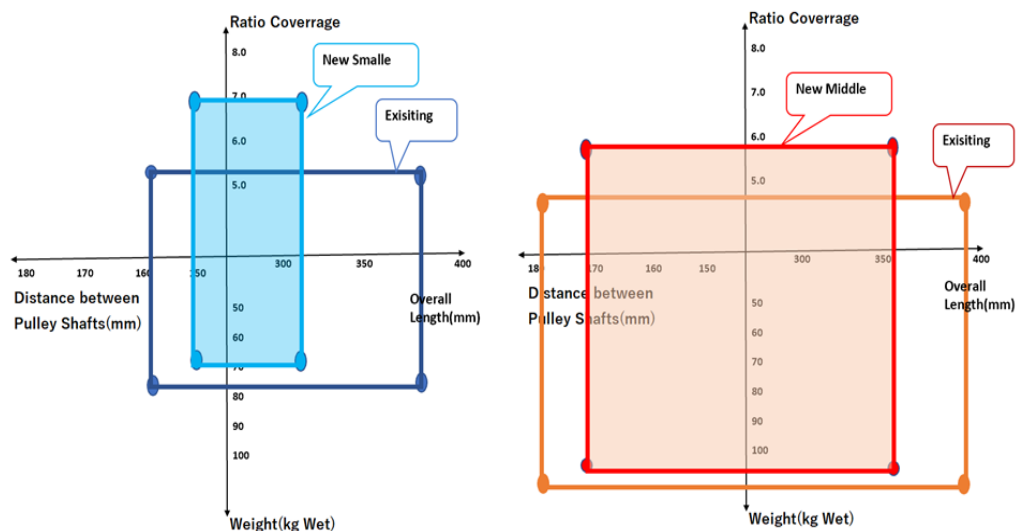


Fig. [2-18]. Comparison of current and new CVT transmissions for small and medium-sized vehicles

6. 結言

新世代CVTの技術開発に定められたコンセプトに沿った技術革新を研究した。このために車輦，エンジン，トランスミッションの事業の異なる企業の開発および製造が同席し新コンカレントエンジニアリング活動により目的のラインナップを生み出している。活動と技術を次の通りにまとめる事が出来る。

1)社会環境の変化と車輦の要件を技術動向としてまとめることで，車輦・エンジン・

トランスミッションの利害が必ずしも一致しない企業が同席し、小型化とイノベーションが促進された。

- 2)新世代駆動システムの基本戦略は「小型・高トルク対応」と特定技術の3社公開により統一するために同定されたことが成功の要因である。
- 3)最大の技術革新は、小さな駆動装置でも広い比率カバレッジ得るための技術を開発することである。コンセプトを達成するために、新方式である副変速機機構と小プーリの組み合わせが有効であることを、プロジェクトとして統一見解できたことである。
- 4)競合企業の存在により、プロジェクトには参加が不可能な要素技術企業であっても「小さなトランスミッションで高トルクを伝送する技術を開発する」統一見解により、トルクを伝達する重要な部品としてベルトに注目し、新しいベルトと新しいチェーンの開発が効果的であった。
- 5)車輻・エンジン・トランスミッションと言う異なった企業が、開発の初期段階から同期設計を行う新コンカレントエンジニアリングの考え方の浸透により、新世代の駆動装置の開発が達成できた。

技術革新の発展は、より多くの貢献を可能にし、車輻性能の向上と同時に参加社の技術レベルを大幅に見直すことが可能となっている。革新技術への道程に貢献する為、さらなる革新を通じて車輻性能開発に寄与できる仕組みを作り上げている。今回のプロジェクトでは、要素部品企業や、学の参画はなかったが、協働開発には限界や不効率もある。このため、新たな協働基礎研究と言う広がりへのアプローチが開発プロセスの初期段階からの参画が必須であることが理解された。これは急速な車両性能の要求と企業開発の限界が、産学協働研究の実現によってブレークスルーでき、タイムリーな次世代の技術の取り込みが実現するものと考ええる。

参考文献

- (2-1) Shigeo, Ishida. Takashi, Shibayama. And Akihiro, Aoyama, Globalization Innovative led by 2 pedal Transmissions, The 4th China TM Symposium (2012) p.137-140.
- (2-2) Kim B, Clark. Toshimasa,Fujimoto, Product development capability (2008), Diamond company, p. 4-8,134-171,177-181 (in Japanese).
- (2-3) Shigeo ISHIDA, Global Trends in Vehicle Technology and Drivetrains CTI Berlin (2009)
- (2-4) Global Task Force Corporation, Commuting College MBA 11 MOT - Technology Management (2004), Comprehensive Decree Publication, p. 94 - 99 (in Japanese).
- (2-5) Nissan Motor Corporation. Technical Review Vol. 2011-03 (2011) .
- (2-6) Harashima. S, A book by Concurrent Engineering, Nikkan Kogyo Shimbun (2012), p.43-47(in Japanese).
- (2-7) Toshimasa,Fujimoto, Product Development Performance, Diamond Sha (2009), pp.4-8(in Japanese).
- (2-8) Ministry of Economy, Trade and Industry Policy Division Automobile Division, Vehicle Industry Strategy (2011) (in Japanese).
- (2-9) Oki. T, Consideration on Design Structure Matrix as Analysis Tool of Product Development Management, Regional Economic Studies No. 17, (2007), p.27 - 40 (in Japanese).
- (2-10) Mori, K. Tsurushima, K. Itami. N, Master of MOT (2007), Nihon Keizai Shimbun p.138-140, 322-324 (in Japanese).
- (2-11) Terry, Nakatsuka. and Akihiro, Aoyama, J 's mission towards 2017, 13th International CTI Symposium Berlin Germany, (2011) p.9-12.
- (2-12) JATCO Corporation, Technical Review Vol.09 (2012) (in Japanese)
- (2-13) Takashi, Shibayama, Benefit of shifting without clutch engagement and disengagement, TMC/China-SAE (2010) p.22-27.

第 3 章 車輛用動力伝達システムにおける油中

気泡制御の産学協働研究

3.1 緒 言

本章では、トランスミッション内における油圧配管内に生じる気泡の制御技術という基礎技術領域での成果が、車輛用無段変速機（以下、CVT）の変速特性向上という車輛ニーズへと繋がるプロセスを可視化すると共に、基礎技術領域での成果を参画する企業に還元する方法論について述べる。

昨今の日本の自動車産業は、環境性能や自動運転、コネクテッドカーなど多種の技術開発を進め、特に先進技術への取り組みは技術競争力の源泉となっている⁽³⁻¹⁾。その一方で、自動車の有する、走る、曲がる、止まるという基本性能を、高いバランスを保ちながら継続的に向上させる必要がある。そのため、車輛基本性能に共通した基礎技術領域では企業系列を超え、我が国の研究資源の多くが集中する大学の知見を活用した、産学協働研究による効率的な研究開発が求められている⁽³⁻²⁾。

日本の自動車産業構造の特徴をみると垂直統合型と呼ばれ、商品開発から原理研究に至るまで個社の中で完結しようとする形態を取る⁽³⁻³⁾。加えて企業間の激しい技術競争、系列による委託と受託関係などのため、協働研究に参画する企業間において利害や目的の一致を図るには課題が多い。この為、産学協働して基礎研究を推進する経済産業省主導の技術研究組合活動においては、2014年時点で全56団体の活動の内、自動車産業に直接関連する活動は3活動に過ぎない⁽³⁻⁴⁾。また、車輛の開発に携わる企業を分類すると、最終製品を製造・開発する車輛メーカー、ユニット開発を行うユニットメーカー、システムメーカー、部品メーカーからなる多層構造となる。そのため、階層の中間に位置する企業では、基礎技術領域における協働研究の成果が、自社の製品開発に応用可能であるかの判断が必要とされている⁽³⁻⁵⁾。加えて研究資源を有する大学においても、産学連携は大学がその研究成果を社会全体に還元する有効なシステムでもあることから、活動を通じて大学が研究の価値を明らかにする必要があるとされている⁽³⁻⁶⁾。

しかしながら、従来からの産学協働研究は、産学一対一もしくは同業数社が大学と連携する産学連携プロジェクト活動が主体となっており⁽³⁻⁷⁾、階層間において必ずしも利害

や目的が一致しない複数層の企業が参画する活動はほとんど行われていない。また、車輛ニーズと基礎研究との関係が直接的ではない自動車用動力伝達システム技術領域では、産学協働研究より得られた基礎技術領域での成果と車輛基本性能との関係は明確に関連付けられていない。このために協働研究の継続的な実施には、参画する企業に対して、階層を越えて成果の価値を共有するアプローチが必要と考えられる。

具体的には、オイルポンプメーカ、油脂メーカ、油圧デバイスメーカの協力および大学の参画により実施した、公益社団法人自動車技術会協働研究センターのプロジェクト活動「動力伝達システム技術の協働基礎研究(2014年-2017年)」⁽³⁻⁸⁾における油中気泡の発生原理解明 (Science) という成果が、気泡制御技術 (Technology) へと至り、高効率の油圧システム開発 (Development) を経て、実際の無段変速機の製造 (Production) へと至った一連の流れについて報告する。

3.2 研究の範囲

図[3-1]に本研究で対象とする協働研究範囲を示す。本研究では、近年の CVT の性能技術競争において、機器小型化や高圧対応が求められるトランスミッションの作動・潤滑・冷却を担う油圧システム⁽³⁻⁹⁾を取り上げた。この技術領域は図 1 に示す様に、車輛ニーズから原理研究まで階層が 7 階層と多層に分かれ、且つ中間層を担当する企業が多いという特徴を持つ。また、近年の油圧システムの高圧化の要求により油中気泡やキャビテーションの発生、熱負荷に対する耐久性といった課題が浮上しており非競争領域の技術課題⁽³⁻¹⁰⁾として適していると考えられる。中でも、油圧システム高圧化に起因して発生する油中気泡の制御という課題は、CVT をはじめ変速機に関わる開発を行う企業にとって共通した基礎研究課題となっている⁽³⁻¹¹⁾反面、この原理現象は参画各社の開発に直接結びつきにくいという特徴がある。また企業における技術開発では適用開発に資源投入を欠かせない事情も加わり、企業が基礎研究に取り組む優先順位が比較的低いという現状もある。このような事情から本研究で取り上げ、気泡発生現象の把握とその制御が原理側 (Science と Technology) と応用側 (Development と Production) といった階層を超え車輛ニーズに結び付くことを確認することとした。

Science	Technology		Development	Production
Collaborative research			Company development	
Principle research	Basic technology	Applied technology	Transmission performance	Vehicle performance
<ul style="list-style-type: none"> • Fluid engineering <ul style="list-style-type: none"> └ Bubble phenomenon └ Bubble generation └ Tribology 	<ul style="list-style-type: none"> • Oil passage <ul style="list-style-type: none"> └ Bubble generation control └ Bubble particle size control └ Bubble occupancy 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulic mechatronics <ul style="list-style-type: none"> └ Vibration force └ Resonance └ Fluid force • Performance analysis <ul style="list-style-type: none"> └ Hydraulic control etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Overall speed change evaluation <ul style="list-style-type: none"> └ Shift response └ Shift shock └ Stability 	<ul style="list-style-type: none"> • Drivability <ul style="list-style-type: none"> └ running └ cornering └ stopping

Fig. [3-1]. Flow of hydraulic oil control improves drivability of vehicle

対象とする協働研究範囲を図[3-1]で示す。本構図を産学協働研究から車輛性能獲得に至る機能および技術を製品(Production)ニーズから遡って述べる。まず、車輛に求められる運動性能は、基本動作を運転者の意図通りに実現することである。運動性能の一部は運転性であり、運転性を成立させるために車輛を運転者の意図通りに加減速する変速機技術が重要である。変速機に求められる性能として、変速応答性、変速円滑性、および変速安定性がある。これら性能を維持向上する技術領域の一つは、油圧メカトロニクスであり、油圧の安定性や油圧システムの効率向上、振動制御等が変速機性能向上には重要である。油圧システムの適切な制御には、作動流体中の気泡体積の制御や、その粒子径の分布制御、気泡発生抑制といった技術が必要となる。これらを可能とするためには、気泡の発生現象の把握や発生原理の解明といった産学協働基礎研究が必要となると考えた。

以上の検討より、本論文では協働基礎研究として、オイルポンプメーカー、油脂メー

カ、油圧デバイスメーカーの協力および大学を参画者とし、公益社団法人自動車技術会協働研究センターのプロジェクト活動として実施した「動力伝達システム技術の協働基礎研究(2014年-2017年)」を事例として取り上げた。また協働基礎研究の成果が車輛ニーズに結びつく応用として、第一筆者が過去に所属していた企業における CVT 開発を事例として取り上げた。

3.3 実験装置および実験方法

3.3.1 油中気泡の可視化実験装置および実験方法

図[3-2]に本研究で用いた油中気泡可視化装置の概略を示す。本装置は実験用潤滑油（以下、オイルと呼ぶ）を貯留するタンクと供試オイルポンプ、可視化流路から構成される。温度調節器によって実験温度に調整されたオイルはポンプによって可視化流路内に圧送され、ノズルから噴出する。流路内のオイル圧力は、流路後端に設置した圧力調整器によって調整した。可視化流路内にはフィルタが設置されており、ノズルから噴出したオイルはこれらのフィルタを通過した後、気泡観察部位に流入する。オイル中の気泡混入状態はデジタルカメラによって観察し、オイル中の気泡体積および気泡径を評価した。

本装置は、動力伝達分野における協働研究に使用することから、参画企業毎によって異なる条件にて実験可能な構成とした。以下、金属ベルト式 CVT のケースについて具体的に述べると、オイルについては、基油と消泡機能を有する添加剤から構成⁽³⁻¹²⁾されるが、その成分等は参画企業毎によって異なる。ポンプ形式では外接および内接ギアポンプ、ベーンポンプ、トロコイド式ポンプの 4 種類が主に使用されている。フィルタの種類について着目すると、メッシュ式フィルタや不織布フィルタといった形式の異なるフィルタや、メッシュ密度の異なるフィルタを用いる場合もある。ノズル形状についても各社異なることから、これら各要素を柔軟に変更可能な構成とした。また実験条件やポンプ運転条件についても、参画企業における規格を参考に、油温制御範囲を $-40\sim 140^{\circ}\text{C}$ 、基本オイル吐出量を $10.7\text{cm}^3/\text{rev}$ 、ポンプ駆動回転数の最大値を 7000rpm まで、吐出圧力の最大値を 7MPa までにおいて評価可能な装置とした。

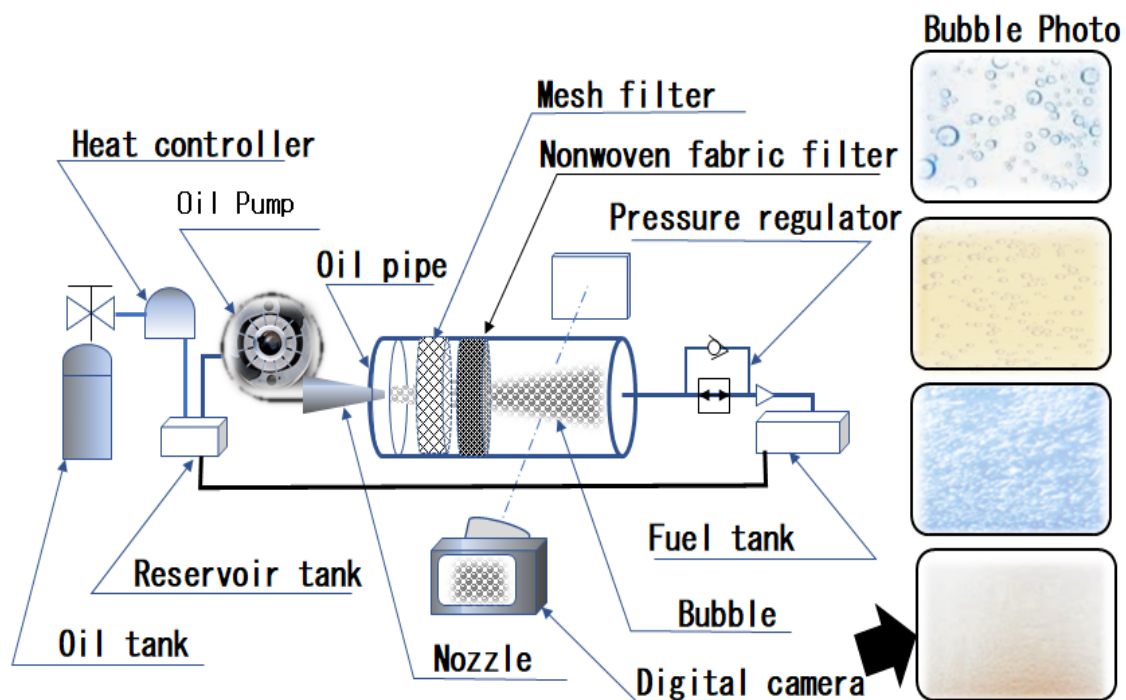


Fig. [3-2]. Experimental device of bubble view of oil injection, nozzle and filter system setup

3.3.2 金属ベルト式無段変速機 (CVT) の変速特性評価

図[3-3]に本研究で使用した変速特性評価試験機の概要を示す。本装置は入出力モータ、変速ユニット、制御および解析装置から構成される。入力モータによって発生した動力は、変速機ユニットを介し出力モータへと伝達され、動力吸収される機構となっている。本研究では、油圧デバイスの違いが変速特性に与える影響を調査するため、油圧デバイスを含む変速機ユニット全体の評価を実施した。

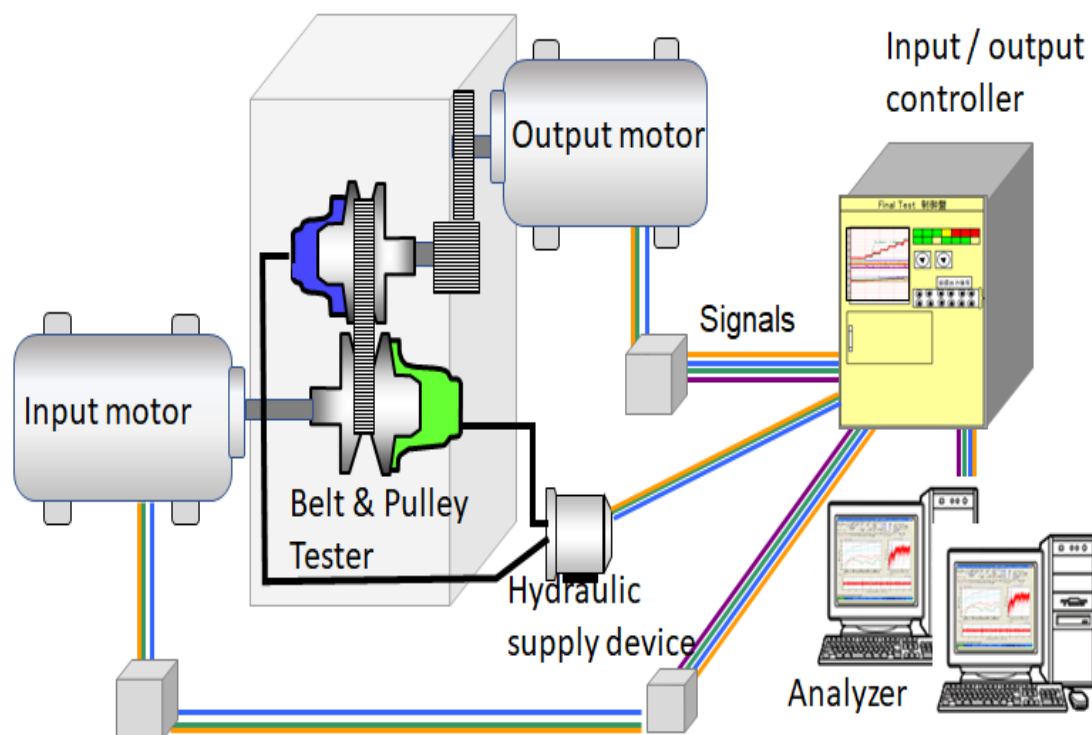


Fig. [3-3]. Hydraulic input / output analysis dynamometer

変速特性の評価については、企業各社によってその評価手法および評価項目に差異があると考えられる。また変速ユニットの搭載される車輛の種類や車重、適用地域等を加味した車輛の想定使用状況によっても評価手法および評価項目に差異があると考えられるが、本研究では、変速の応答性に着目して評価を行った。具体的には、変速速度域毎に、目標速度および実速度の時刻暦波形を取得し、両者の差を基に変速特性の評価を行った。本研究では、JC-08 モードを参考にクリープ条件、発進条件、低速加速条件、中間加速条件、高速加速条件、および減速条件の 7 条件について評価を行った。表[3-1]に各試験条件における変速速度域条件の一覧を示す。

Table [3-1]. Test Conditions

Speed change	Speed range
Creep	0-5 km/h
Launch	0-10 km/h
Low speed acceleration	10-40 km/h
Mid speed acceleration	40-70 km/h
High speed acceleration	70 - km/h
De-acceleration	--

3.4 結果および考察

3.4.1 油中気泡の可視化結果

図[3-4]に3つの異なる試験条件における油中気泡の粒径および気泡体積との関係を例示する。図よりいずれの試験条件においても100, 177, 300 μm 近辺の気泡粒径において、その気泡体積が大きくなっていることが確認できる。つまり、本装置を用いた検討によって、オイルの成分や添加剤の種類の違い、ポンプ形式の違い、ノズルおよびフィルタ構成の違いが油中気泡の量やその粒径分布に与える影響を定量的に評価可能であることが分かった。具体的にはポンプ形式およびフィルタ形式を変更した実験より、100 および 177 μm の比較的小さな気泡については、フィルタの適切な選定やポンプの油掻き量を低減することによって、その気泡体積を減少させることが可能であるとの知見を得た。また 300 μm 近辺の粒径の大きな気泡については、気泡を粉碎し、分離させることが、その気泡体積減少に有効であるとの知見も得た。つまり、低減施策の検討により得られた気泡発生原理 (Science) を用いることによって、気泡粒径安定化や気泡体積低減といった油中気泡の制御技術 (Technology) が

得られたといえる。この制御技術を用いることによって流体力を向上させた、高効率な油圧システムの開発（Development）が可能となる。

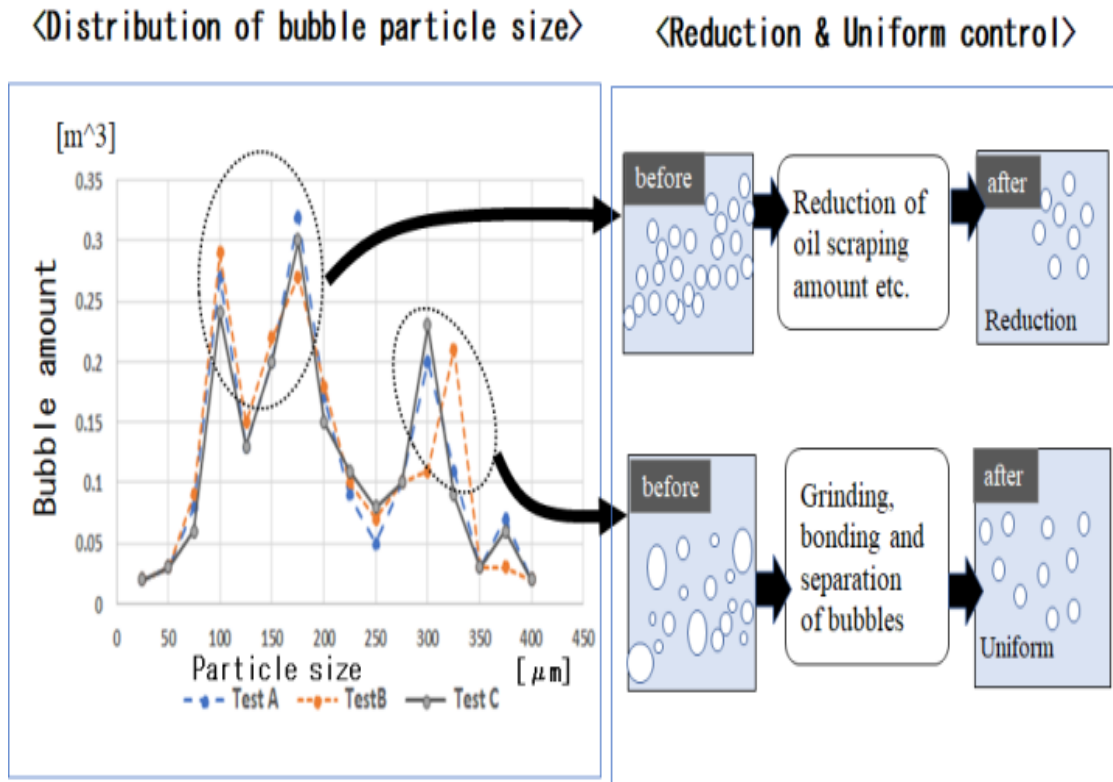


Fig. [3-4]. Observing the generated air bubbles, leads to the crushing and combination of air bubbles and reduction of amount of oil scraping

ここで、一般的に良く知られているように、ポンプ効率 η_e は以下の計算式で示される。

機械効率 (η_e) の計算式

$$\eta_e = \frac{P_p \times Q_t}{2\pi T_p}$$

体積効率 (η_v) の計算式

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_t}$$

全効率 (η) の計算式

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_e$$

η_e : ポンプの機械効率

η_v : ポンプの体積効率

η : ポンプの全体効率

P_p : ポンプから発生する圧力 (Pa)

Q_r : ポンプ 1 回転あたりの実吐出量 (m^3)

Q_t : ポンプ 1 回転あたりの理論吐出量 (m^3)

T_p : ポンプを駆動するのに要するトルク (Nm)

となり、一見、どの形式のポンプであっても同じ解となるが、歯車ポンプは構造が簡単で小型化にも適している。2つのギアが決められた軸を中心に回転しているためギア先や側面の隙間は剛性と隙間を詰める技術に頼るが、比較的大きくとらざるを得ない。特に高圧になるとリークが大きくなる。また、キャビテーションも課題となる。この視点から、ベーン式ポンプが注目されている。回転体にベーンの入る溝を切り、この溝にベーンを組み立て、ベーンの刃先が回転による遠心力やバネの押力により入力軸と偏芯したレースに直接接触させる構造となっている。直接オイルをシールするために隙間は比較的小さくなる。したがって、オイルのリークが少なく、体積効率も良い。また、特に高圧に適している。また油中気泡による高回転時の効率の低下も少ない。図[3-5]に本装置により得られたポンプ種類の違いによるオイル吐出量の違いを示す。図中、破線にて理論吐出量を示す。一般に良く知られている様に、実際の吐出量を理論吐出量で除したポンプの体積効率は、ポンプ内部での油漏れ（リーク）や作動流体中に含有される気泡の特性に影響を受けることが知られている。本装置を用いた検討においても、ポンプ運転回転数が 3000rpm を超えた辺りから実際の吐出量が理論でのそれに比べ低くなる傾向が確認できた。また作動流体中に含有される気泡の体積分率を 20%から 10%に低減した所、ベーン式オイルポンプの体積効率が向上する傾向が確認できた。

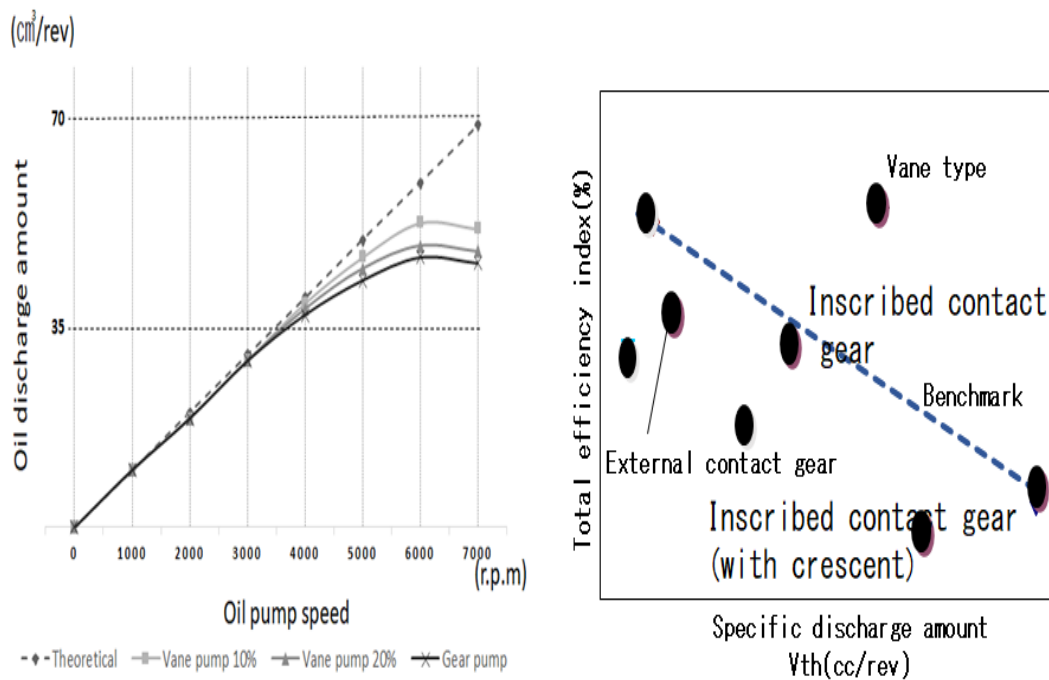


Fig. [3-5]. Discharge comparison by pump type and bubble content rate

3. 4. 2 変速特性評価結果

図[3-6]に中間加速条件における、目標速度と実速度との時刻暦波形を、図[3-7]に両者の速度差の時刻暦波形を示す。図に示す様に、変速動作中には目標速度と実速度との間に速度差が生じ、この速度差が大きくなると、運転者に違和感を生じさせることがあるため、本研究ではこの速度差の最大値を、変速特性の定量評価に用いた。図7第2軸にて評価に用いた指標の仮値を示している。

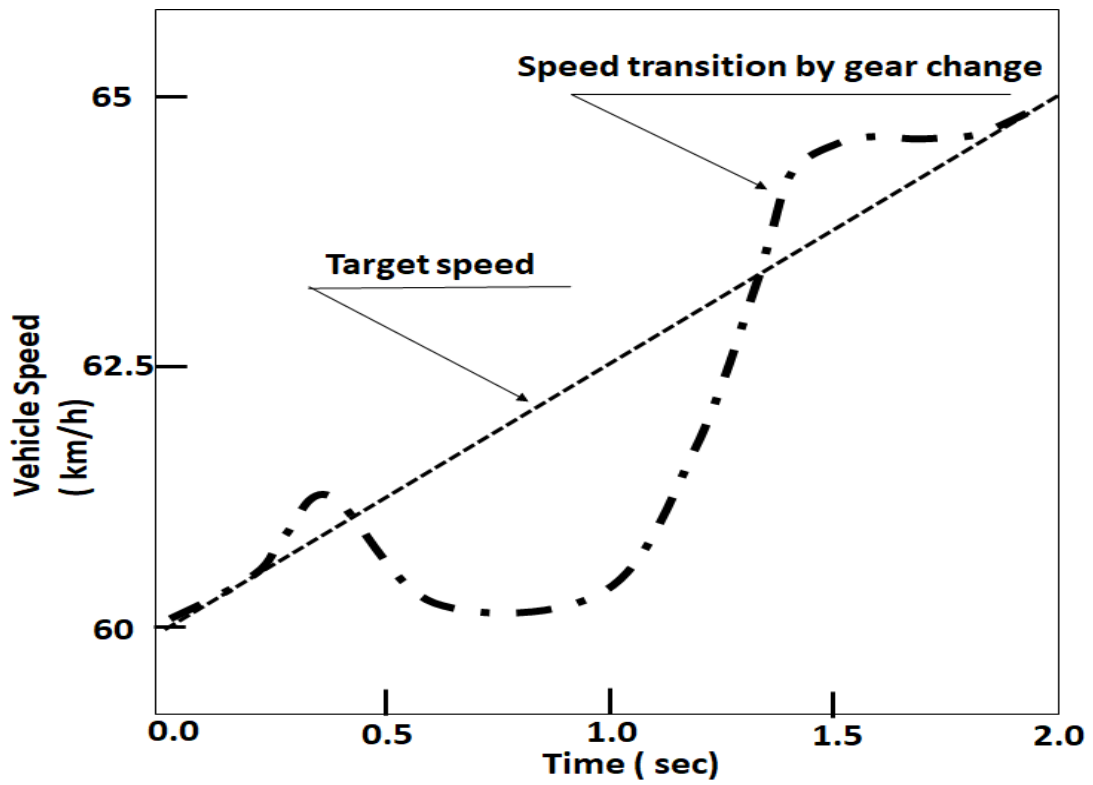


Fig. [3-6]. Time-lapse waveform of target speed and actual speed at intermediate acceleration

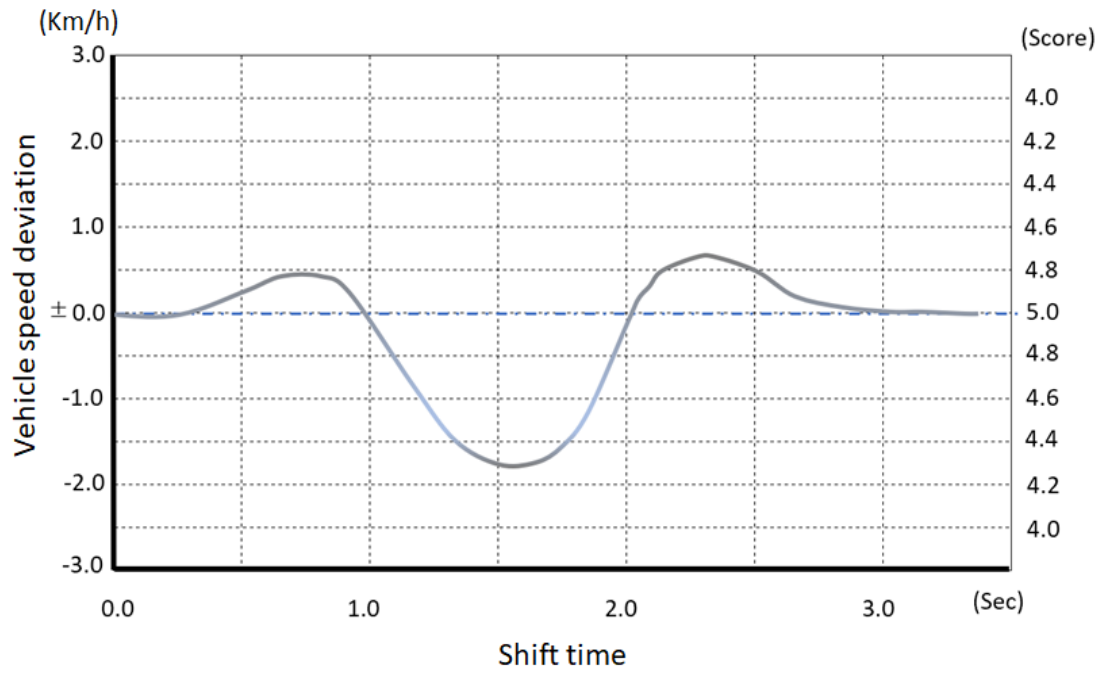


Fig. [3-7]. Shifting evaluation at the time of running

表[3-2]に3種類のCVT変速ユニットにおける各速度域での変速特性の評価結果を示す。表中、比較のため遊星式4段自動変速機での評価結果を示している。試験に供した3種類のCVT変速ユニットは、同一のプーリおよびベルト形状を採用するものの、その開発世代が異なる。具体的には第1世代から第2世代において先の協働研究成果を基に小型ベーンポンプの採用および油圧デバイス全般の再配置を行っている。また第2世代から第3世代においては制御アルゴリズムの見直しを行っている。表より、油圧システムの見直しによって第2世代では発進加速、中間加速および減速条件での評価が、第1世代でのそれに比べ向上したことが確認できる。これは、前述の油中気泡低減によって油圧応答性が向上し、その結果変速応答性が向上した結果であると言える。また第2世代から第3世代での評価の変化に着目すると、中間加速および減速に加え高速加速条件での評価も向上したことが確認できるが、その向上幅は第1世代から第2世代でのそれに比べ小さかった。

Table [3-2]. Overall speed change performance evaluation
(Numerical values: experimental and simulation values)

Speed change	Base value	1st Gen	2nd Gen	3rd Gen
Creep G	4.30	4.45	4.50	4.50
Launch G	4.30	4.20	4.50	4.60
Intermediate Acceleration 1	4.30	4.40	4.50	4.50
Intermediate Acceleration 2	4.30	4.30	4.60	4.70
Intermediate Acceleration 3	4.30	4.30	4.50	4.60
Deceleration G	4.30	4.30	4.60	4.70

これらの基礎評価をベースとし、実際の車輻に搭載した場合での比較評価も行った。図[3-8]にその評価結果を示す。図より、先ほどの変速特性のみに着目した評価結果と同様に、第1世代から第3世代において評価が向上したことが確認できる。

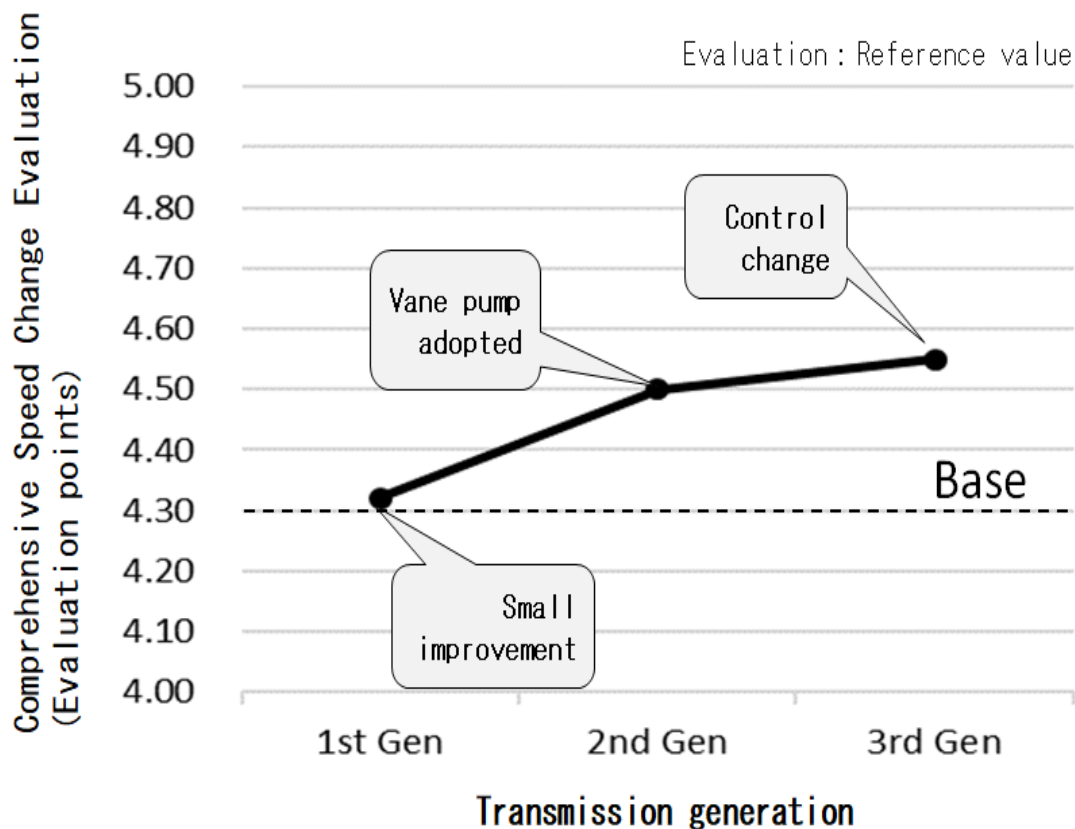


Fig. [3-8]. Transition evaluation of overall speed change evaluation of vehicle equipped with automatic transmission

3.5 考察

これまでの結果より、ニーズ（車輻運動性の向上）とシーズ（油中気泡の制御）とが一对一に対応しない様な場合においても、非競争領域での協働基礎研究の成果が、競争領域での製品開発に有用であることが示された。具体的には、油中気泡発生現象の把握とその制御という原理側（Science と Technology）での成果が実際の変速機開発という応用側（Development と Production）に至る過程を可視化し、協働基礎研究の有効性を明らかにした。一方、原理側で獲得したシーズと応用側のニーズとの

間には隔たりが存在することから、協働基礎研究での成果を、応用側で活用が容易な形で提供する必要性が確認できた。

本研究では、原理側での成果を応用側で活用するに際し、気泡の含有体積を変化させた場合における物理特性のモデル化を行った。図[3-9]にモデル化の具体例として油圧ポンプの効率と含有気泡との関係および振動と含有気泡との関係を示す。この様に含有気泡の特性と油圧システムの構成設計に必要な知見とをモデル化することによって、協働研究から得られた成果を一部品における技術資料 (Technical data) から、車輛開発プロセスの中間に位置する、ユニットメーカーやシステムメーカーが活用可能な技術成果 (Technical seeds) へと昇華させることが可能となる。

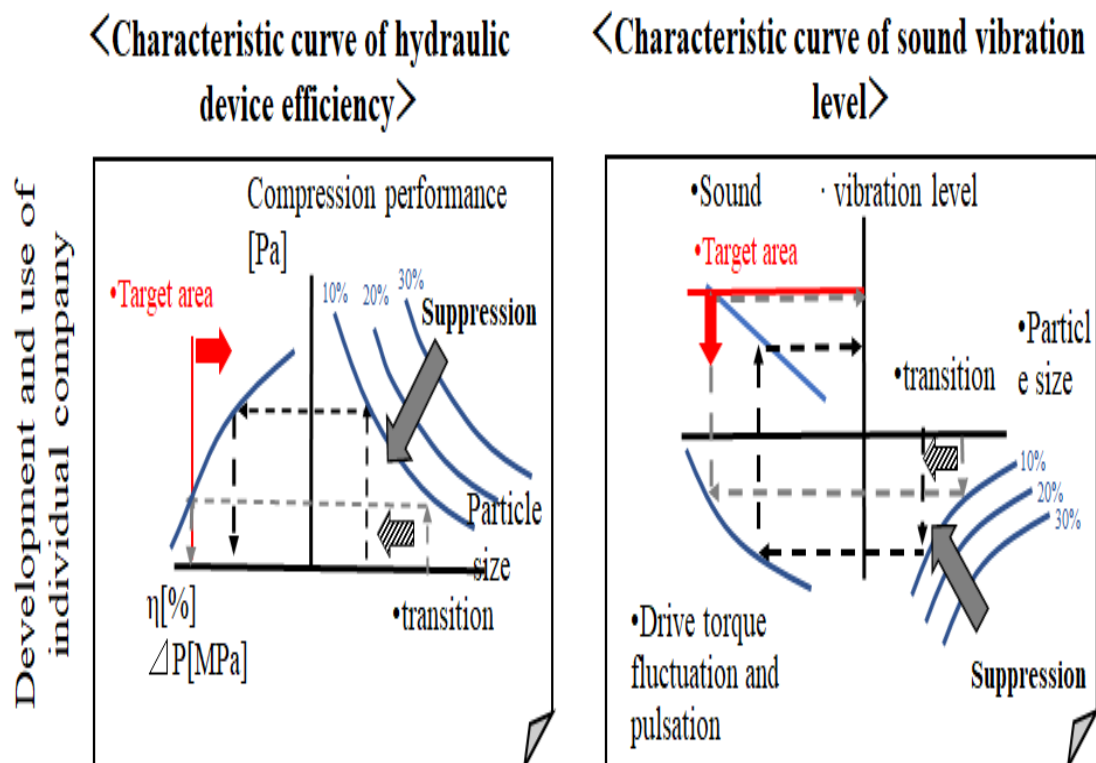


Fig. [3-9]. Bubble suppression affects hydraulics and vibrations improving pipelines and increasing efficiency and stability of hydraulics

具体的には、本研究によって得られた、気泡の集積、脱泡消泡、気液分離安定性メカニズムといった基礎原理や制御技術のモデル化により、体積効率の良く、且つ高压

での高エア含有対策としてキャビテーション抑制の為のフローコントロールバルブを廃止したベーン式オイルポンプの変速機への応用検討⁽³⁻¹³⁾が可能となった。さらに、ベーン式オイルポンプは小型化や配置の自由度が高く、この利点を活用して管路の引き直しによる油圧デバイスシステム全般の再配置提案にも結び付く。結果的に油圧応答性の向上が、指示通りの変速状態や変速スピード向上を目指す新型ユニットの実現に至ることとなる。

この様に得られた知見を技術成果としてまとめることによって、原理から応用まで、開発プロセス構造の異階層に属する参加者によって構成される協働基礎研究の成果を、参加者全員で共有できることになると考えられる。

3. 6 結言

本研究では、油圧配管内に生じる気泡の可視化という基礎研究によって得られたシーズが、車輛用無段変速機の応答性向上というニーズへと結びつく過程を可視化し、原理側（Science と Technology）と応用側（Development と Production）という開発プロセス構造の異階層で協働基礎研究の成果を共有する方法論について検討し、以下の結論を得た。

- (1) ニーズ（車輛運動性の向上）とシーズ（油中気泡の制御とが一対一に対応しない様な場合においても、非競争領域での協働基礎研究の成果が、競争領域での製品開発に有用であることが示された。
- (2) 原理側（Science と Technology）で得られた成果を技術成果（Technology seeds）としてまとめることによって、開発プロセス構造の異階層に属する参加者によって構成される協働基礎研究の成果を、参加者全員で共有できることになると考えられる。

参考文献

- (3-1) 荒井次郎,次世代自動車の普及について-経済産業省産業政策局自動車課-, 自動車技術会春季大会 GIA フォーラム講演集 (2017)
- (3-2) 山田道夫,産学連携の現状と今後の展望, 高分子, p.218-221 (2000)

- (3-3) 藤本隆宏, 能力構築競争—日本の自動車産業はなぜ強いのか—, 中公新書,
p.294-307(2003)
- (3-4) 経済産業省産業技術環境局技術振興・大学連携推進課, 年次報告講演会(2014)
- (3-5) 原嶋茂, コンカレントエンジニアリングの本, 日刊工業新聞社, p.43-47 (2017)
- (3-6) 笈一彦, 産学連携推進におけるコミュニケーションに関する一考察, 研究・イノベーション学会 2014 年年次大会講演要旨集, p.947-947(2014)
- (3-7) 中村弘樹・塩幡宏規・川村秀紀, 中堅ものづくり企業における技術マネジメントに関する実証研究, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.833, (DOI: 10.1299/transjsme17-00371), p.4-7 (2017)
- (3-8) 公益社団法人自動車技術会協働研究センター, 産学官活動についての年次報告,
(2014)
- (3-9) Takashi . SHIBAYAMA, Benefit of shifting without clutch engagement and disengagement, TMC-paper China-SAE, p.22-27 (2013)
- (3-10) 五嶋裕之, 坂間清子, 舟知亮祐, 田中豊, 油中気泡量の測定によるキャビテーションの評価, 日本機械学会山梨講演会講演論文集, p.74-77(2017)
- (3-11) 守本佳郎, 無段変速機 C V T 入門, 株式会社グランプリ出版, p.107-108(2004)
- (3-12) 岡田三津雄, 潤滑油の消泡, 公益社団法人 日本油化学会油化学 42(10), p. 807-810, 1993-10-20(1993)
- (3-13) Sayako SAKAMA, Yutaka TANAKA, Hiroyuki GOTO: Mathematical Model for Bulk Modulus of Hydraulic Oil Containing Air Bubbles, Mechanical Engineering Journal, Vol. 2, No. 7, 17-00347, (2017)

第 4 章 動力伝達システム分野における産学協働

研究フレームワーク研究

4.1 緒 言

本章では、協働基礎研究における産学連携参加者全員が、活動の企画推進に携わるための活動推進フレームワークの導入、および、競争企業の研究者が持つ研究課題から、各社共通する基礎研究のテーマやその目標などを探索する。このための 2 種のフレームワークを提案し、その有効性を検証した。

自動車のトランスミッションシステムの分野では、最終製品から基本原理まで複数の層があり、シーズとニーズに直接つながる構造にはなっていない。そのために、ニーズと基礎研究を結びつけて研究テーマを見つけ、関心や目標を促進し、協働研究を促進するための活動計画を立てる必要がある。本研究では、協働基礎研究の推進を計画する活動推進体制の導入と、各企業に共通する基礎研究のテーマを探索するための研究テーマ発掘体制を考察する。

自動車産業では消費者ニーズの多様化や環境問題、また、自動運転など次世代技術への多大な研究リソースの要求や人材獲得、次世代人材育成の為に開発における効率化が求められている⁽⁴⁻¹⁾。特に、我が国の研究資源の多くが集中する大学に対して、多様な期待と要請が寄せられており⁽⁴⁻²⁾、自動車分野においても、共通した基礎研究領域では継続して協働研究を産学連携にて進める必要性が生まれている。大学や公的研究機関は、その研究成果を発信するのが通常である一方で、産業界側のニーズは必ずしも公には顕在化されないことから、研究活動やプロジェクトの創出は産業界側からの自発的コンタクトによるものの比重が多くなることが知られている⁽⁴⁻³⁾。

しかし、本報で対象とする自動車用動力伝達システム分野は、最終製品から基礎原理に至るまで、複数の階層が存在し、大学や公的研究機関が有するシーズと最終製品におけるニーズが直接的に繋がる構造を持たないため、最終製品におけるニーズと基礎研究とを結びつけ、研究テーマを発掘する必要がある。また、複数の階層には必ずしも利害が一致しない競争企業が存在するため、これら複数の産と学が連携して活動するためには、産および学側での利害や目的の一致を図り、円滑に協働研究を推進するための活動

スキームが必要と考えられる。

以上を踏まえ、具体的には、筆者らが参画した公益社団法人自動車技術会協働研究センターのプロジェクト活動として動力伝達システム技術の協働基礎研究(2014年-2017年)⁽⁴⁻⁴⁾を遂行するにあたり導入した活動推進および研究テーマ発掘フレームワークの2つのフレームワークについて、協働研究に参加した産および学の関係者から聞き取り調査を行い、フレームワークの有効性を調査した。

4.2 活動の枠組みを設定する為の調査分析

4.2.1 事業課題に関する状況把握

二つ以上の企業が互いに連携することにより保有する経営資源・技術資源を活用し、競争優位性を確保および進展させる戦略提携や技術提携が増加している。双方の企業が保有する資源を補完させることにより、新規市場開拓や新規技術開発などにおいてシナジー効果を生み出すことが狙いである⁽⁴⁻⁵⁾。そのため、環境対策技術や先進技術の研究開発の為には、企業間の連携関係を効果的に実行する為の協働マネジメントが重要な役割を担うことになる。また技術連携によって、実験データ、物理式、モデルなどの直接的な成果だけでなく、インフラや研究員の成長などを紐づけする情報融合⁽⁴⁻⁶⁾により、人材育成や産業の底上げという間接的な成果も期待される。

しかしながら、本研究で対象とする自動車分野では、戦略、組織、技術水準、問題解決のプロセス、といった製品開発において、各メーカーやメーカー系列独自の開発プロセス構造を構築している⁽⁴⁻⁷⁾実態がある。そのため、この実態が異なる組織間での協働における障害となり、過去幾度となく協働研究の提案がなされたにも関わらず、成功事例が少ないという現状に表れているのではないかと推察される。つまり、協働研究事業における事業課題は、参画企業によって異なる研究開発の進め方や組織体制、運用体制等をマネジメントし、競合企業同士が協働する範囲を制約し、参画企業が得られる研究価値を最大化することであると考えられる。

以上の状況把握より、異なる企業や系列が参画する協働研究事業に対し、一貫性のある推進スキームを構成することが必要であると考え、マネジメント視点と実活動の推進フレームワークを明確化することが必要であると考えた。

4.3 開発プロセス構造の把握と類似活動調査

4.3.1 開発プロセス構造の可視化

図[4-1]に示す開発プロセス構造は、動力伝達システム分野の開発プロセス構造の階層と機能および技術を示す。企業系列によってプロセスと包含する機能・役割に多少変化があると思われるが、共通理解として例示する。

Vehicle maker	Unit maker	System maker	Element maker	Academia
Vehicle performance	System performance	Basic technology	Functional site	Principle phenomenon
Fuel economy	Transmission efficiency	Efficiency ・ Machine loss ・ Fluid loss ・ Shift loss ・ Heat loss	Belt/Chain Gear Clutch	Gear technology Mechatronics ・ Electronics ・ Materials///
Drivability ・ running ・ cornering ・ stopping	Overall speed change evaluation Noise and vibration	Hydraulic Mechatronics ・ Vibration force ・ Resonance ・ Propagation ・ Frequency	Oil pump Oil pressure control	・ Fluid engineering ・ Tribology/// ・ Mechanical engineering

Fig. [4-1]. Required performance and technical area by level

図[4-1]の構造を車輛メーカーから学研に至る階層に沿って述べる。

- (1) 車輛メーカーは、車輛としての戦略的な性能目標値を設定する。動力伝達技術領域において求められる性能は燃費と運転性であり、ここでは例として運転性を取り上げて説明する。動力伝達システム技術として運転性に变化を与える評価事項は変速性能（変速速度や変速動作の円滑さ）である。車輛メーカーはこの要求値をユニット開発メーカーに提示する。
- (2) ユニット開発サプライヤであるユニットメーカーは、動力伝達ユニットの開発を担当する。現状値と要求値との差異と達成の為に性能を司る要素技術群（システム）や制御の視点から、その関連するシステムとモジュール構造や要素部品に性能値を分解し、システムメーカーに提示する。
- (3) システムメーカーでは、性能を司るシステムを取り扱う。制御システム改善に資する制

御開発や、必要とされる構成要素部品に性能値を展開し、部品メーカーに提示する。

(4)部品メーカーは、個々の要素の設計を行う。オイルポンプやクラッチなど単体の要素部品である。自社開発や、原理解明の必要性に応じてアカデミア（大学）に研究を委託する。

(7)アカデミアでは研究を受託する。企業ニーズを階層で分解された最終案件を基礎研究として実施する。

図1では、アカデミアによる流体制御の原理研究が、車輛の運転性能向上へと至る流れを例示している。

4.3.2 類似活動との特質比較

自動車産業において産学官が複数集まる協働基礎研究では、経済産業省傘下の技術研究組合としての活動が従来から推進されており、内燃機関分野研究での燃焼研究（2017年開始）や材料分野研究での構造材の協働研究（2014年開始）は従来からの成功事例として挙げられる⁽⁴⁻⁸⁾。これら技術研究組合では対象とするのは、最終製品である車輛性能の向上である。図2に示すように内燃機関の燃焼基礎研究における開発プロセスの構造は、車輛性能（車輛メーカー）～内燃機関技術（車輛メーカー）～燃焼原理研究（アカデミア）とシンプルな構造となっている。また、材料分野活動における開発プロセスの構造においても車輛性能（車輛メーカー）～構造材料（材料メーカー）～素性・強度研究等（アカデミア）である。

このように内燃機関分野および材料分野においては、その開発プロセスは、車輛メーカーとアカデミア（大学・研究機関等）が一对一で基礎研究を行える階層構造となっており、車輛メーカーのニーズとアカデミアが有するシーズが直接対応する構造となる。加えて、例えば内燃機関技術や材料技術に関して述べると、アカデミアでは技術領域全般の知見や長年の研究経験を有しており、基礎研究が最終製品の性能にどのように反映されるかを予見可能である。

一方、図[4-2]に示すように、筆者らが取り組む動力伝達システムでの開発プロセス構造は、前節にて述べたように製品から基礎研究まで最大7階層で構成される。しかし、車輛ニーズに直接反映される動力伝達システム技術全般への知見は、関連する企業の自社階層に直接関連する部分領域に留まる。このことは、研究を受託するアカデミアも同様の状況にあり、アカデミアで動力伝達システムというユニット技術全般としての研究

経験による知見や、専門的に扱う学科は日本では皆無と言ってよい。そのため、動力伝達システムの協働基礎研究においては、車輛メーカーのニーズとアカデミアが有するシーズとを紐付けする活動が必要となると考えられる。

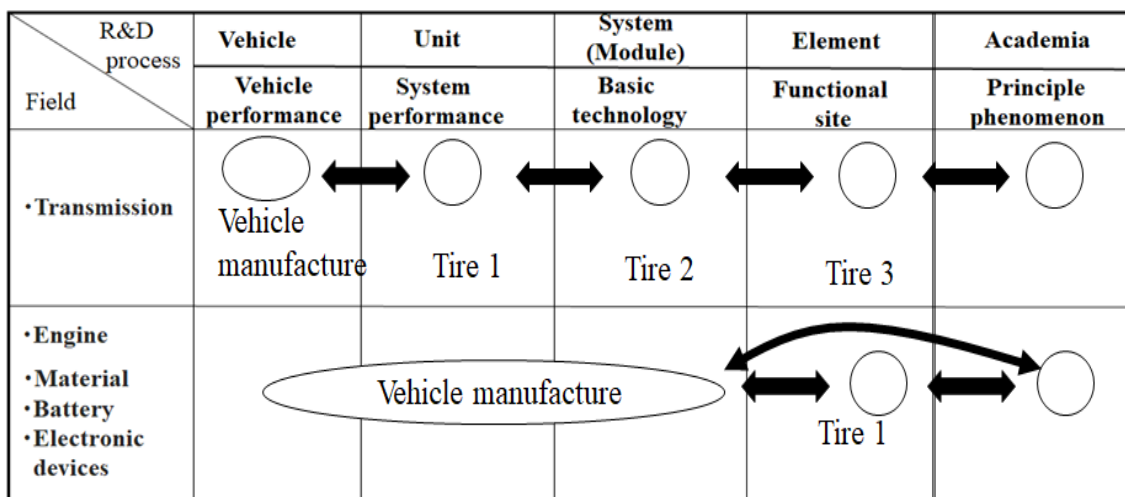


Fig. [4-2]. Comparison of development process structure between transmission and other technical fields

4.4 フレームワークの提案とその評価方法

4.4.1 活動フレームワークの提案

以上の調査結果より、本研究では協働研究事業を遂行する上での事業課題を、ビジネス環境、開発プロセスおよび協働研究の3つに分類し、これらを表[4-1]に示す2つの活動フレームワークにて解決する方法を提案する。以下に、2つの活動フレームワークの詳細を述べる。

Table [4-1]. Structure of activity framework for task

Category	Task	Activity framework
Business environment	<ul style="list-style-type: none"> ・ How to proceed ・ Management method ・ Difference in technical level 	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Planning & technical management </div>
Development process	<ul style="list-style-type: none"> ・ Understanding the structure ・ Sharing values for each company 	
Joint research	<ul style="list-style-type: none"> ・ Scope of commonization ・ Common research creation ・ Excavation procedure 	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Research theme excavation </div>

4.4.2 活動推進フレームワーク

活動推進フレームワークでは、協働研究事業に参画する企業や大学・公共研究機関に対し、協働研究における開発プロセスや技術レベルの平準化を進め、研究成果とその価値の共有を課題とした。協働活動においては、価値の共通認識が必要であると共に価値創出の考え方などの共有・共感が必要である⁽⁴⁻⁹⁾とされている。

本研究では、図[4-3]に示す様に、協働研究事業における活動を、計画策定、管理および研究開発の3つに分類した。また協働研究事業における進捗状態を、共有段階、協働段階、実行段階および評価段階の4段階に分類した。各段階における活動を以下に示す。

まず、共有段階においては、研究開発活動によって、産学官より研究ニーズおよびシーズの抽出を行う。また、計画策定活動によって、産学官の活動コンセプトや目標値などを共有し、管理活動によって、協働研究の必要性、必然性を共有

するとともに共感を得ることを目指した。協働段階においては、研究開発活動によって研究テーマの発掘を行い、計画策定活動によって、研究テーマの集約と研究の範囲を協議し、管理活動によって研究テーマ領域の設定、リソースの配分などを行うこととした。実行段階では、研究開発活動によって研究を実行し、計画策定活動によって研究成果の開発への適用などの価値創出を行い、管理活動によってその評価を行う。評価段階においては、管理活動によって、研究成果を用いた出口戦略の策定を行った。

いずれの段階においても、管理活動では、研究開発活動および計画策定活動での協議結

果を基に、両者の内容の整合性を確認することとした。

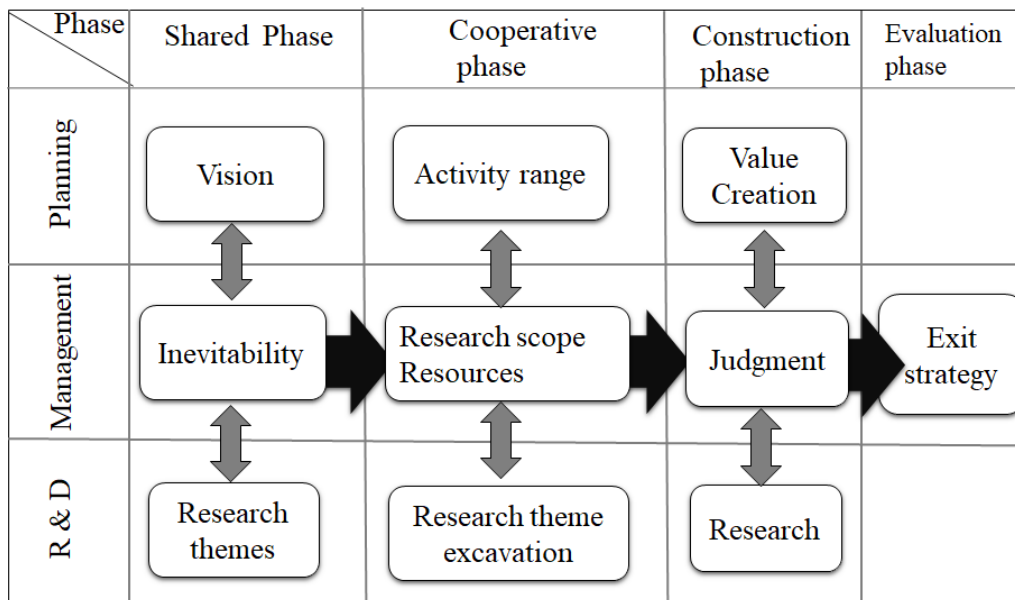


Fig. [4-3]. Activities of planning, technical management and research

4.4.3 研究テーマ発掘フレームワーク

第2の活動フレームワークを述べる。各企業が協働し研究テーマを探索する問題解決手順である。各企業が自社で開発案件抽出に活用している方法の類似性から共通項を抽出及び編集を試みている。表(4-2)に研究課題収集から研究テーマの設定や目標設定までの要件と手順を示す。

まずSTEP1で示す事前準備段階において、参加各社の課題及び研究テーマを無記名集約した。中立者（学術団体幹事など）によって、各社にて専門用語の意味が異なるケースの抽出と統一化を行い、研究テーマの内容を客観化した。その後、テーマ案件が開発案件か基礎研究に当たるかの判断と集約を行った。

次にSTEP2で示す改善要求段階では、STEP1にて集約した研究テーマの類似性・客観性を評価し、各テーマにて改善する項目の抽出を行った。

STEP3で示す重要性の把握段階では、STEP2で抽出した改善項目の重要性および成果における位置づけを明確化した。これによって研究を進める順序を決めるだけでなく、研究課題間の繋がりや貢献度を明確化した。

STEP4で示す成果の指標の明確化段階では、研究テーマ毎に成果を評価する指標の

明確化を行った。

最後に STEP7 で示す目標値設定段階では，研究成果の定量的および定性的目標値の設定である．ここで，定量的目標とは，研究成果に対する数値目標とした．参加者の専門領域により目標値が異なるケースがあるため，共通視点での合意によって具体的な数値目標を定めた．また絶対値の設定は個々の製品や要素部品の開発そのものとなり，参加者の利害が対立する恐れがあるため，業界標準をベンチマークとした相対値にて設定することも考慮した．また定性的目標とは，研究によって得られた知識の蓄積や人材育成，技術者ネットワーク構築の状態に対する目標とした．

Table [4-2]. Collaborative basic research search method

	Input	Discussion	Output	Notes
<STEP 1> Advance preparation	Blind collection	Objective edit Separation of R & D	Research term	Unification of Terminology
<STEP 2> Improvement Request	Improve matters	Objective of annoyances Assortment of priority	Agreement to improve matters	Undesirable effects
<STEP 3> Importance	Agreed improved matter	Challenges of vertical relationship Target value	Priority and reason for improvement	Connection of challenges
<STEP 4> Indicators of achievement	Priority reason	Measurement of results and gap	First index (value about vehicle)	Measurement allowance of first index
<STEP 5> Target value setting	Hierarchy of improving matter	Quantitative Qualitative Research value(academia) Persistence	Target and basis improvement Opportunities Benchmarking Best practice	Occurrence of reaction

4.5 活動フレームワークの実践と評価

4.5.1 評価対象者

先に述べた 2 つの活動フレームワークに沿って活動を実施した．参加者は自動車用動力伝達系システム（トランスミッションおよび要素，差動装置および要素，制御システム）の技術者および研究者であり，評価は任意としている．参加期待者 32 名の属性の

内訳を表[4-3]に示す。参加者の内、過去産学連携研究に従事の経験者は 19 名である。参加者は 2 つのフレームワークの提案策定時にも少なからず参加している。また、学会中立技術者 2 名は主催者側に近いため評価対象者から除外した。結果、評価対象者は 30 名、産学連携活動経験者は 19 名が対象となった。参加者は活動途中での交代など、当初期待の人員にはなっていないが概数での評価としている。

Table [4-3]. Breakdown of participants in activity framework

Organization	Total	Experienced	Inexperienced
Vehicle manufacturer	12	6	6
Unit manufacturer	8	5	3
Element parts manufacturer	4	2	2
Society neutral engineer	2	2	0
University	6	4	2
Total	32	19	13

4.5.2 評価方法

2 つの活動フレームワークの有効性について、以下の観点から参加者に対し聞き取り調査を行った。まず、活動推進フレームワークについては、活動推進の視点から、I-a) 推進方策の妥当性向上、I-b) 協働活動の必要性に対する理解向上、I-c) 産学の連携度合いの向上および I-d) 開発プロセスへの理解向上の 4 項目について、活動推進フレームワークが有効であったかを聞き取り調査した。また活動成果の視点から、I-e) 研究テーマへの理解向上、I-f) 研究の高度化、I-g) 活動の継続化および I-h) 研究テーマ発掘方策の 4 項目について、フレームワークの有効性を聞き取り調査した。

次に、研究テーマ発掘フレームワークについては、発掘手順の妥当性の視点から、II-a) 研究テーマと製品との関連性向上にフレームワークが有効であったかを、発掘内容の視点から、II-b) 研究範囲と研究テーマの妥当性向上、II-c) 目標値の妥当性向上、II-d) 企業の価値増大、II-e) 学術的な価値増大、II-f) 研究拡大への期待向上に対して、フレームワークが有効であったかを、それぞれ聞き取り調査した。

評価方法は 7 段階評価 (7:非常に良い, 4:良い, 3:変わらず, 2:悪い, 1:非常に

悪い) とし、活動の前後において比較調査した。

4.6 結果および考察

4.6.1 活動推進フレームワークの有効性

図[4-4]に活動推進フレームワークの有効性について、活動前後における全ての回答者の評価を単純平均した結果を示す。

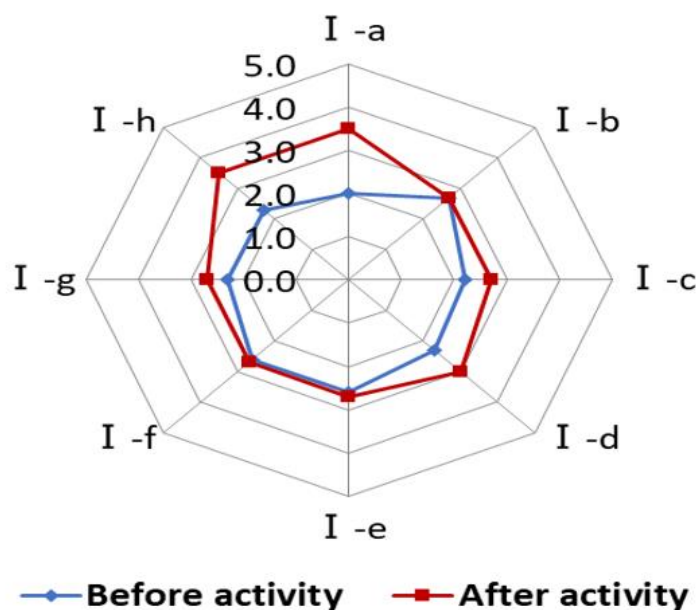


Fig. [4-4]. Evaluation comparison before and after activity

図より、凡そ全ての項目について、活動後の評価は、活動前のそれより向上した。しかし、その向上率は項目によって異なり、I-b) 活動の必要性に対する理解向上や I-f) 研究の高度化など、フレームワークの有効性に対する評価が活動前後で殆ど変化しない項目もあった。

評価結果を詳細に分析するため、回答者の属性毎に評価結果を分析した。3. 2. 1に示した車輻メーカー、ユニットメーカー、要素部品メーカー、および大学関係者の4種類の属性毎に各項目の活動後の評価結果をまとめたものを図[4-5]に示す。まず図中の活動推進に関わる項目 (a-d) に着目すると、要素部品メーカーおよび大学関係者による評価結果は凡そ同様の傾向を示すことがわかった。一方、車輻メーカーとユニットメーカーによる評価も凡そ同様の傾向を示すことがわかった。また、全般的に方針的な項目ではニーズ側

の車輛メーカーの評価が高く、個別評価では基礎研究を行うシーズ側の評価が高い傾向にあることがわかった。各項目に着目すると、まず I-a) 推進方策の妥当性向上では製品に近いニーズ側による評価が高かった。これは、活動の基本的考え方への理解に関心が深いためだと考えられる。次に、I-b) 協働活動の必要性に対する理解向上はユニットメーカーによる評価が高くなった。これは、ユニットとしての性能確保が事業の主体であることから、基礎研究がユニット性能への作用が大きいとの認識があるためだと考えられる。また、I-c) 産学の連携度合いの向上と I-d) 開発プロセスへの理解向上は基礎研究に近い側による評価が高くなった。基礎研究に近い要素部品メーカーや大学にとってニーズと基礎研究が結び付くことが活動の価値であるとの認識によるものだと考えられる。次に活動成果に関わる項目 (e-f) に着目すると、活動推進と同様に、ニーズ側およびシーズ側による評価結果は、I-e) 研究テーマへの理解向上以外は、凡そ似通っていることがわかった。I-e) 研究テーマへの理解向上に対する評価は、回答者の属性がニーズ側からシーズ側に変化するにつれて高くなった。これは、ニーズ側とシーズ側の両者において、基礎研究に対する理解度に差があるためだと考えられる。ニーズ側の企業から見た基礎研究は、開発のための道具の一つであるとの認識が存在し、大学側の基礎研究に対する認識との差異が評価の違いとなって現れたと考えられる。I-f) 研究の高度化および I-g) 活動の継続化について、評価者の属性の違いによる大きな差異は見取れなかった。一方、I-h) 研究テーマ発掘方策の妥当性に対する評価は、ニーズ側とシーズ側で差異が見られた。これは先に述べた基礎研究に対する認識の違いによるものだと考えられる。

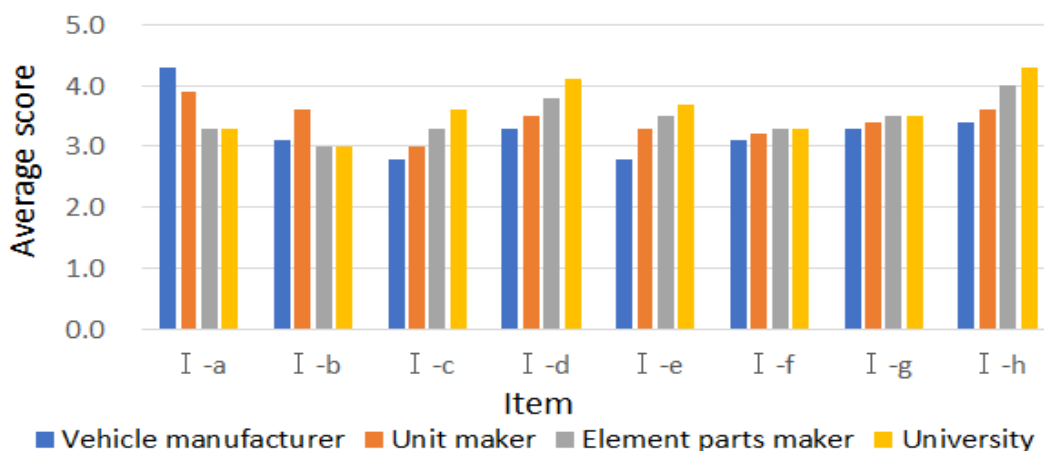


Fig. [4-5]. Evaluation comparison by attribute of participant

図[4-6]に産学連携経験の有無による評価の違いを示す。図より、いずれの項目においても産学連携活動経験者による評価は、未経験者によるそれらより高かった。

特に I-c) 産学の連携度合いの向上や I-h) 研究テーマ発掘方策の妥当性について、両者による評価の差異は大きく、本フレームワークの目的の一つである、協働研究における開発プロセスの共通化や技術レベルの平準化による連携度合いの向上および、研究成果とその価値の共有促進が有効に作用したものと考えられる。一方、活動の前後において全評価者の評価の差異が少なかった I-b) 協働活動の必要性に対する理解向上および I-f) 研究の高度化について着目すると、産学連携活動経験の有無に関わらず、同程度の評価であった。I-b) 活動の必要性に対する理解向上については、本研究で対象とした協働基礎研究においては、予め動力伝達分野における協働活動の必要性が多少なりとも共有されていたため、活動前後における評価の差異が小さかったものと考えられる。また I-f) 研究の高度化については、研究の進捗にも左右され、必ずしもフレームワークの存在のみが研究の高度化に影響を与えないため、評価の差異が小さかったと考えられる。

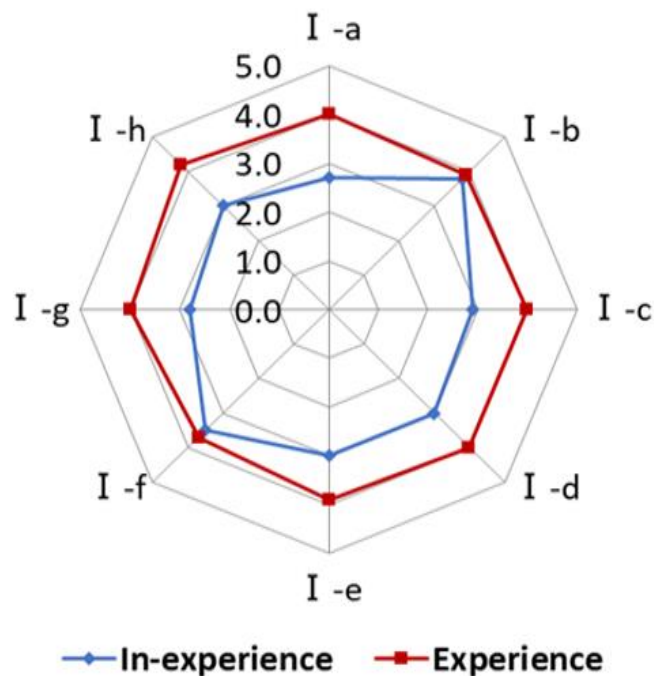


Fig. [4-6]. Evaluation of presence or absence of activity experience

4.6.2 研究テーマ発掘フレームワークの有効性

図[4-7]に活動推進フレームワークの評価と同様に研究テーマ発掘フレームワークの評価を示す。活動前後における全ての回答者の評価を単純平均した結果である。凡そ全ての項目について、活動後の評価は、活動前のそれより向上していることが確認できた。しかしその向上率は項目によって異なり、II-b) 研究範囲と研究テーマの妥当性向上やII-f) 研究拡大への期待向上など、フレームワークの有効性に対する評価が活動前後で殆ど変化しない項目もあった。

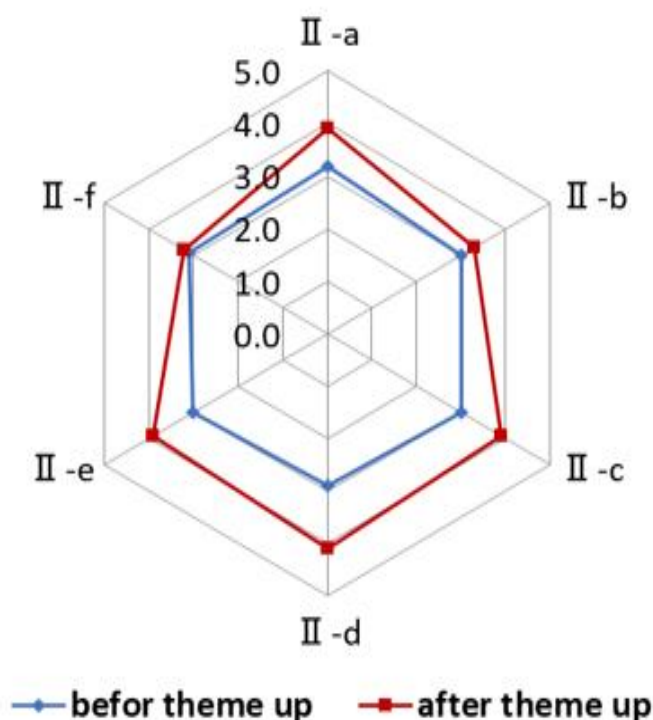


Fig. [4-7]. Evaluation comparison before and after theme up

前節と同様に、回答者の属性毎に評価結果を分析した。各項目の活動後の評価結果を図[4-8] a~fに示す。各個別の評価項目に着目すると、評価者の属性毎に特定の傾向があることが確認できた。まずII-a) 研究テーマと製品との関連性向上については、実際の製品を扱うニーズ側である車輛メーカーと研究を遂行するシーズ側であるアカデミアの2者からの評価が高かった。これは本研究で提案するフレームワークがニーズとシーズとの関連性可視化が有効であったためだと考えられる。またII-b) 研究範囲と研究テーマの妥当性向上やII-c) 目標値の妥当性向上、II-d) 企業の価値増大の3項

目については、ユニットメーカーおよび要素部品メーカーの評価が高く、II-b)からII-d)に変化するにつれて、ユニットメーカーの評価は低くなり、要素部品メーカーの評価は高くなる傾向が見られた。これはユニットメーカーおよび要素部品メーカーの実状に起因した傾向と考えられる。つまり、ユニットメーカーは車輛メーカーのニーズを満足するため、要素部品メーカーとアカデミアの持つシーズを有効活用し、ユニットを研究開発する立場である。そのため、本フレームワークによって具体的な研究範囲と研究テーマの妥当性向上を行うことによって、II-b) 研究範囲と研究テーマの妥当性向上の項目においてユニットメーカーの評価が高かったものと考えられる。一方、要素部品メーカーにおいては、協働研究においてアカデミアの研究から得られた知見は、実際の車輛やユニットに利用される要素部品の設計・開発に還元される。そのため、II-d) 企業の価値増大の項目において、要素部品メーカーからの評価が高かったものと考えられる。また、II-c) 目標値の妥当性向上については、ユニットメーカー、要素部品メーカー共に、実際のユニットや要素部品を開発する立場であるため、本フレームワークにおいて、客観的かつ定量的な目標を参加者の合意によって定めたことが評価されたものと考えられる。一方、II-e) 学術的な価値増大およびII-f) 研究拡大への期待向上については、アカデミアの評価が高かった。これはフレームワークによってアカデミアの持つシーズと車輛メーカーのニーズとの関連性が可視化され、シーズ側からみた研究内容の価値が増加したためと考えられる。

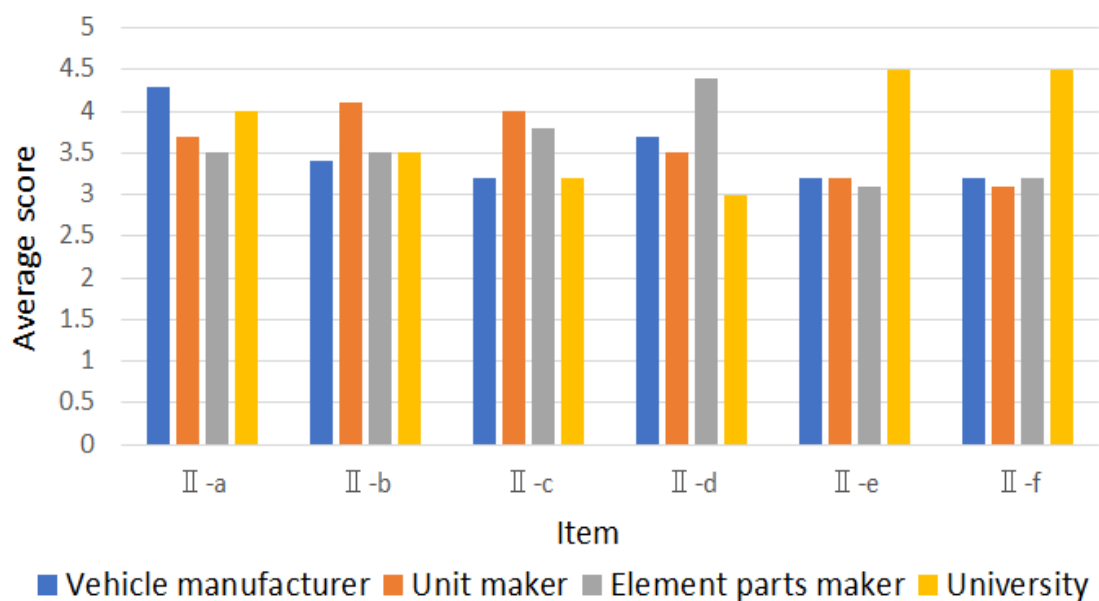


Fig. [4-8]. Evaluation comparison by attribute of participant

図[4-9]に産学連携の経験の有無による評価の違いを示す。図によりいずれの項目も経験者の評価が未経験者の評価を上回った。図より、II-c) 目標値の妥当性向上, II-d) 企業の価値増大, II-e) 学術的な価値増大の3項目において、経験者の評価は、未経験者のそれに比べ高かった。これは研究テーマ発掘フレームワークにおいて実施した、参加者全てからの研究課題の集約および分析を通じた、客観的かつ定量的な目標値の合意が有効に作用したものと考えられる。

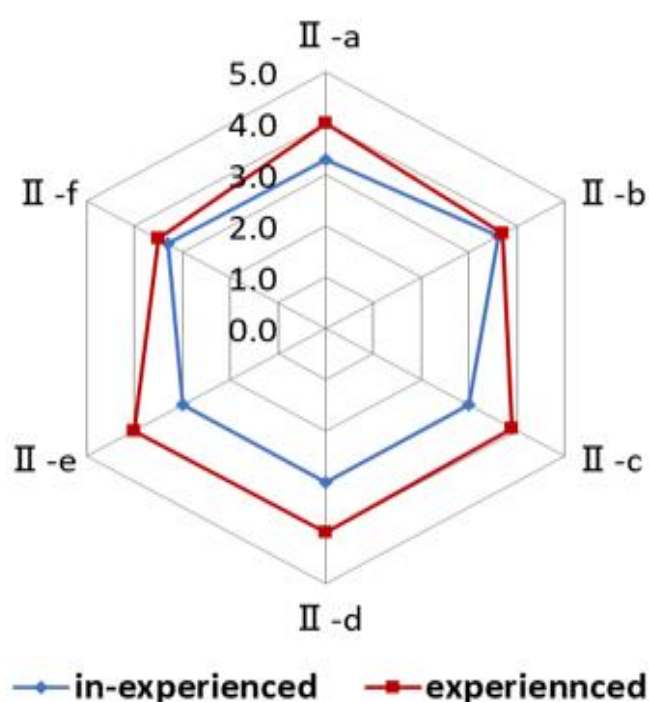


Fig. [4-9]. Evaluation of presence or absence of activity experience

4.7 まとめ

本研究では、基礎研究領域の協働研究における活動スキームについて2つのフレームワークを提案し、その有効性を協働活動の前後において聞き取り調査を行った。その結果本研究で提案する2つのフレームワークは、属性の異なる団体間での協働研究を進める方法として有効であることが確認できた。以下、その特徴をまとめる。

(1)活動推進フレームワークを用いて、異なる団体間での開発プロセスの共通化や技術レベルの平準化による連携度合いの向上および、研究成果とその価値の共有促進を図る

ことにより、協働研究を円滑に進めることが可能である。

(2)研究テーマ発掘フレームワークを用いて、異なる団体間での研究課題の集約および分析を通じた、客観的かつ定量的な目標値の合意形成を図ることにより、協働研究を円滑に進めることが可能である。

参考文献

- (4-1) 田中宗介,自動車産業政策の今後 2017 , 経済産業省, 自動車技術会春季大会フォーラム講演集, p.14-19 (2017)
- (4-2) 山田道夫,産学連携の現状と今後の展望, 高分子, p.218-221 (2000)
- (4-3) 箕一彦,産学連携推進におけるコミュニケーションに関する一考察, 研究・イノベーション学会 2014 年年次大会講演要旨集, p.947-947 (2014)
- (4-4) 公益社団法人自動車技術会協働研究センター,産学官活動についての年次報告, (2014)
- (4-5) 藤本隆宏,能力構築競争ー日本の自動車産業はなぜ強いのか, 中公新書, p.294-307 (2003)
- (4-6) 松島克守,MO Tの経営学, 日経B P社, p.273-279 (2004)
- (4-7) 藤本隆宏・キム・B. クラーク,製品開発力, ダイヤモンド社, p.4-8, 28-37 (2009)
- (4-8) 公益社団法人自動車技術会春季大会,自動車技術会春季大会G I Aフォーラム講演集, 内燃機関技術協働研究組合講演, 材料技術協働研究組合講演 (2014)
- (4-9) 中村弘樹, 塩幡宏規, 川村秀紀,中堅ものづくり企業における技術マネジメントに関する実証研究, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 833, (DOI: 10. 1299/trans jsme17-00371) , p.4-7 (2017)

第 5 章 自動車産業に関する産学協働研究の推進

プロセスと活動循環モデル

5.1 はじめに

本章の目的は、産学連携のための効果的な枠組みを提案し、実際の連携におけるその有効性を検討することにある。産学間の円滑な協働研究を推進するための効果的な枠組みを提案し、その有効性を検証した。特に、自動車の伝達システム分野については、参加者の幅広い属性により議論した。まず、協働研究の調査結果と提案された枠組みについて説明した。そこで、提案された枠組みに基づく基礎研究の協働研究の実例を紹介した。参加者のインタビュー結果によると、提案された枠組みの有効性について議論し、検証した。提案されたフレームワークの有効性は、筆者が行った実際の協働研究の参加者のインタビュー結果に基づいて評価された。評価は、以下の視点に基づいて行われた。a) フレームワークの必要性、b) 協力の面でフレームワークがどの程度効果的であるか、c) 研究テーマ発見活動の有効性、d) 施設準備の枠組みの有効性、e) 産業成果への知見の利用、f) R&D コラボレーションの機能の提供である。インタビューの結果、参加者の属性にかかわらず、すべての項目で肯定的な評価が得られたことが示された。

世界の自動車産業では、環境への関心や安全性に重点を置く投資が徐々に増加している。また、電気自動車や自動運転などの次世代技術への投資も増えている⁽⁵⁻¹⁾。走る、曲がる、止まるなどの基本的な性能を向上させることは、自動車開発の基本要件である⁽⁵⁻²⁾。これらの基本性能は、自動車の信頼性と安全性を保証しており、基礎知識を高めるために継続的な研究開発が求められている⁽⁵⁻³⁾。また、基礎知識は今や常識とみなされている。自動車メーカーを超えたコラボレーションも期待されている。このような状況から、基礎研究のための複数メーカーと複数の学界との連携研究が期待されている⁽⁵⁻⁴⁾。しかし、日本では、参加者の権限や利益の調整が難しいため、各企業と個別大学の間で産学連携が最も多い状況である。また、実際の産業に活用できる共通した基礎研究テーマを選択する適切な方法論はない。そのため、産学連携に役立つ枠組みが求められる。

本研究では、産学間の円滑な協働研究を推進するための効果的な枠組みを提案し、その有効性を検証した。特に、自動車の動力伝達システム分野については、参加者の幅広い属性により議論した。本論の残りの部分では、協働研究の調査結果と提案された枠組みについて説明する。そこで、提案された枠組みに基づく基礎研究の協働研究の実例を紹介する。参加者のインタビュー結果によると、提案されたフレームワークの有効性が議論され検証された。

5.2 現在の枠組みの事例研究と提案の枠組み導入

5.2.1 比較研究先の選択方法

ジェトロの報告によると、2017年の乗用車販売台数は約8,400万台⁽⁵⁻⁶⁾。また、売上高面では、フォルクスワーゲン、トヨタ、ダイムラー、ゼネラルモータズ、フォードが世界最大の自動車メーカー・製造グループであった。これは、7大自動車メーカーがドイツ企業2社、アメリカ企業2社、日本企業1社で構成されている。また、自動車に関する世界科学会議での研究発表件数では、米国がドイツ、日本に続くチャートをリードしました⁽⁵⁻⁷⁾。特に、ドイツの工学・機械工学分野の論文数は、米国や日本⁽⁷⁾よりも多かった。

本稿の主な範囲は、自動車の動力伝達システム技術の開発である。守本氏によると、クラッチ、トルクコンバータ、油圧制御、トランスミッションなどの動力伝達技術の起源はドイツで発明された⁽⁵⁻⁸⁾。多くの日系自動車メーカーが自動車開発にこれら要素部品を導入しているため、日本の自動車メーカーの多くは、インゲニエゲルスシャフト・オート・ウンド・ヴェルケア(IAV)、アンスタルト・フュールなどのドイツのエンジニアリング企業に自動車開発を委託している。ヴェルブレヌングスクラフトマシネンリスト(AVL)、フォルシュングセルシャフトフュル・エネルギテクニク・ウンド・ヴェルブレヌングスモトレン(FEV)、ポルシェエンジニアリング。これらのエンジニアリング企業では、産学官コンソーシアムと密接に関連しており、ドイツの大学と産学連携研究を頻繁に行うことが知られている。近年、中国ではドイツ活動を手本に国家戦略として産学連携研究に成功している⁽⁵⁻⁹⁾。

以上の考え方から、本研究の比較要因として、ドイツ産学協働研究活動を選択する効果があると考えられる。

5.2.2 ドイツと日本における研究開発の特徴

延岡氏は、欧米では、異なる特性に基づいて専門分野が細分化され、個々の技術が重視されていると主張する。このような組織構造は、製品の概念化から開発に担当する1人のプロジェクトマネージャーを持つ権限によって特徴付けられる。一方日本では、全社員の参加を踏まえ、中間管理職は、お互いの専門分野を把握しながら、課題の共有・連携に基づく活動体制を構築している⁽⁵⁻¹⁰⁾。

また、日本の垂直統合研究開発形態では、コンポーネントの基礎は各社で開発されている。決定後、必要に応じた調整が行われる。開発の後半での矛盾を避けるために、フロントローディング活動は開発において重要な役割を果たしている。また、V字型プロセスと呼ばれる開発方法は、開発・検証プロセスに多く用いられている。生産段階を通じて開発段階で知識を共有することで、矛盾や無駄な時間を回避する。この方法は、コンカレントエンジニアリング⁽⁵⁻¹¹⁾と呼ばれる。開発の初期段階より、関連する部署が連絡を取り合い開発視点からモノづくりに至る一連の活動の同期化を図ることにより活動後半になって設計不具合、モノづくり、品質などの齟齬の発生することでの後戻りを未然に防ぐ方法が取られている。しかしながら、実践においては企業を跨ぐなど距離的、時間的に差が生じるケースでは対処が出来なく、同一企業内での活動に留まっている。この方法をサポートする日本の開発組織は、集団組織(OOBEYA/一種のプロジェクトルーム)と呼ばれることもある。集学的組織(OOBEYA)の構造によって専門家がつながる仕組みである。日本では、このシステムが開発成果を生み出すと言われている。

5.3 ドイツと日本の産学連携の比較

5.3.1 水平分業と垂直統合の特徴

ソレノイドバルブを例にした電子制御系デバイスの開発を図 [5-1]の事例で比較する。垂直統合型の我が国産業の特徴は上位の性能から最適解となる性能を捉え個別の最適解の性能の要素システムを開発する。この為、上位の機種が多くなるとそれぞれの要件を満たした最適解の製品が生まれることになる。一方、水辺分業型のドイツ圏ではソレノイドの基本性能・機能を突き詰めこれを「標準」と置く。この標準の研究が産学官連携で進められる。そして、研究が終了し開発段階になると個社では性能・機能の要求に応じたバリエーションとしてそれぞれの事業領域に特化し

た開発を担当するというものである。基本機能の確立までは産学連携で研究を進めるケースを特徴とする。

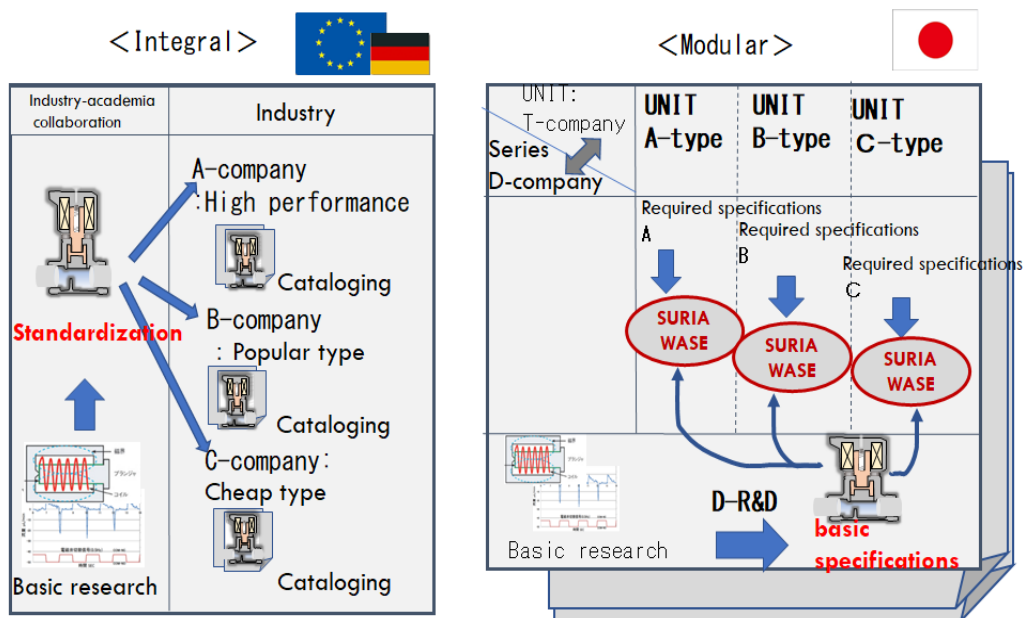


Fig. [5-1]. Features of modular and integral types

5.3.2 ドイツ自動車産業におけるコラボレーション活動

図 [5-2] は、ドイツの自動車業界におけるパワートレイン分野における産学官連携の例を示す。VDMA(ヴェルバンド・ドイッシャー・マシネン・ウンド・アンラゲンバウ:機械工学産業協会)は、協働研究のガイドラインを決定するだけでなく、ドイツ政府から協会に資金を分配する責任を負う。例えば、FVV(フォルシュングスヴェレニグン・ヴェルブレングスクラフトマシネン e. V. :燃焼エンジン研究協会), FVA(フォルシュングスヴェレニグン・アントリエブステクニク e. V. :動力伝達研究協会), およびその他の活動である。FVV と FVA は 40 年以上前に設立され、それぞれ 177 社と 202 社で構成されている。その特徴の一つは、両グループに加盟企業 24 社(OEM9 社, サプライヤ 13 社, エンジニアリング 2 社)の活動である。「e モータ(モータ), ベアリング, ギア」と呼ばれ、活動の一環として機能横断的な活動を行っている。FVV と FVA の両グループは、相互情報交換と知識の蓄積をカバーする効果的な協働活動に取り組んでいる。水平共有の産業構造を活かし、長年の活動の積み重

ねから合理的なコラボレーションの一例といえる^(5-12,5-13).

ドイツにおける産学連携活動は、研究を促進し、効率を向上させるために互いに協力してきた。また、研究者等の人材の交流も活発である。産学連携プラットフォームを継続的に強化することで、基礎工学に関わるだけでなく、産学連携の人材移転も推進する⁽⁵⁻¹⁴⁾。

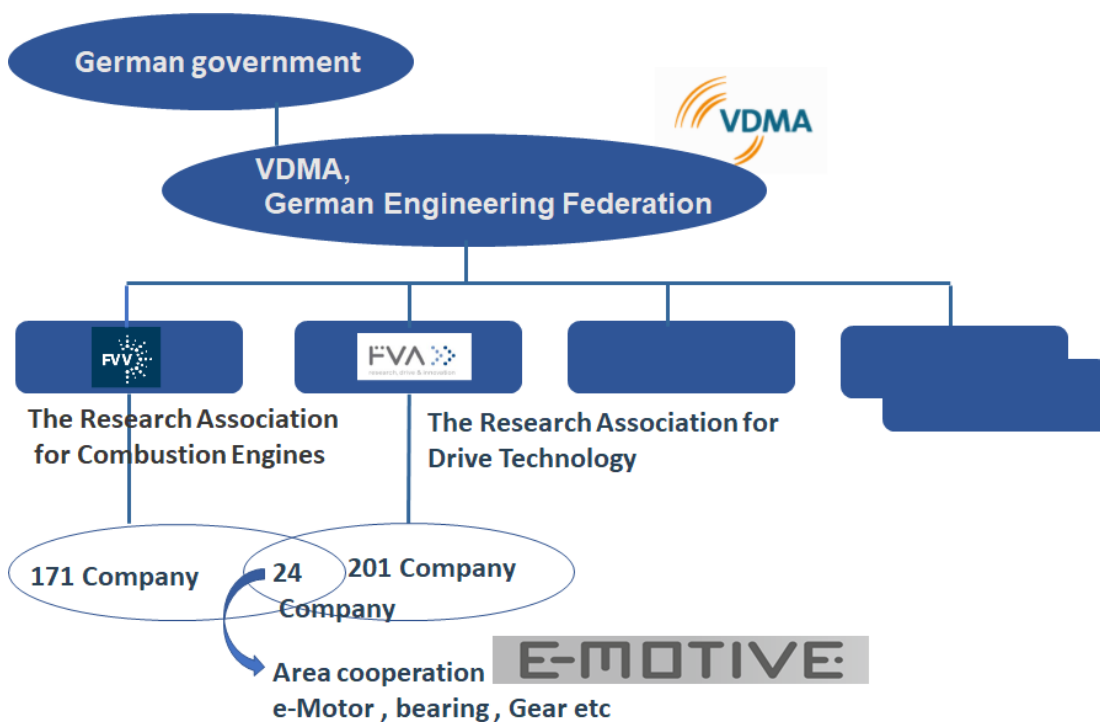


Fig. [5-2]. Industry-academia-government collaboration in the powertrain field in the German automotive industry.

5.3.3 日本の自動車産業におけるコラボレーション活動

日本では、大学の研究は自動車の研究開発分野自体が競争項目になるという特徴がある。そのため、ほとんどの産学連携は、個々の企業と大学の間で行われている。こうした中、経済産業省は2009年に産学連携を推進する協働研究会を設立した。2017年は、自動車関連の3団体を含む77団体⁽⁵⁻¹⁶⁾。最近では、構造材料分野(ISMAは2014年に開始)や内燃機関分野(AICEは2017年に開始)で継続した成功活動の事例として挙げられる。しかし、これらの成功したコラボレーションから得られた知

識を，次の理由で動力伝達システム分野のコラボレーションに応用することは困難なようである．第一に，材料科学と熱力学は工学分野の基礎の一つに分類され，したがって，学術側は十分な知識と経験を持っている．一方，動力伝達システムは，機械要素，トライボロジー，制御工学など，いくつかの学術種類の分野をカバーしている．したがって，アカデミアはこれらの集合技術の成果物である動力伝達システムに関しては知識と経験がほとんど蓄積されていない．また，アカデミアはコラボレーションにおける役割や技術を容易に理解することができない．第二に，内燃機関や構造材料の分野では，産業のニーズと学界のシーズとの関係は，動力伝達システム分野に比べて比較的単純である．

5.3.4 ドイツと日本の産学連携スタイルの違い

図[5-3]は，基礎研究からドイツと日本の製品までの研究開発プロセスの比較を示す．ドイツの自動車産業のビジネス形態は，モジュラー統合または水平統合と呼ばれている⁽⁵⁻¹⁷⁾．モジュラー統合では，個々のコンポーネントは標準化されたインターフェイスを介して接続される．したがって，製造元は容易に役割とその知識を共有できる．一方，日本の自動車産業のビジネス形態は垂直統合と呼ばれている⁽⁵⁻¹⁸⁾．垂直統合では，基礎研究から製品開発まで，すべてのタスクを個々の企業グループ内で完結する．したがって，基礎研究の知識は他の企業グループと共有され難い．一方，モジュラー統合により，R&D サービスプロバイダはドイツで学界と産業界のニーズをつなぐ重要な役割を果たしている．

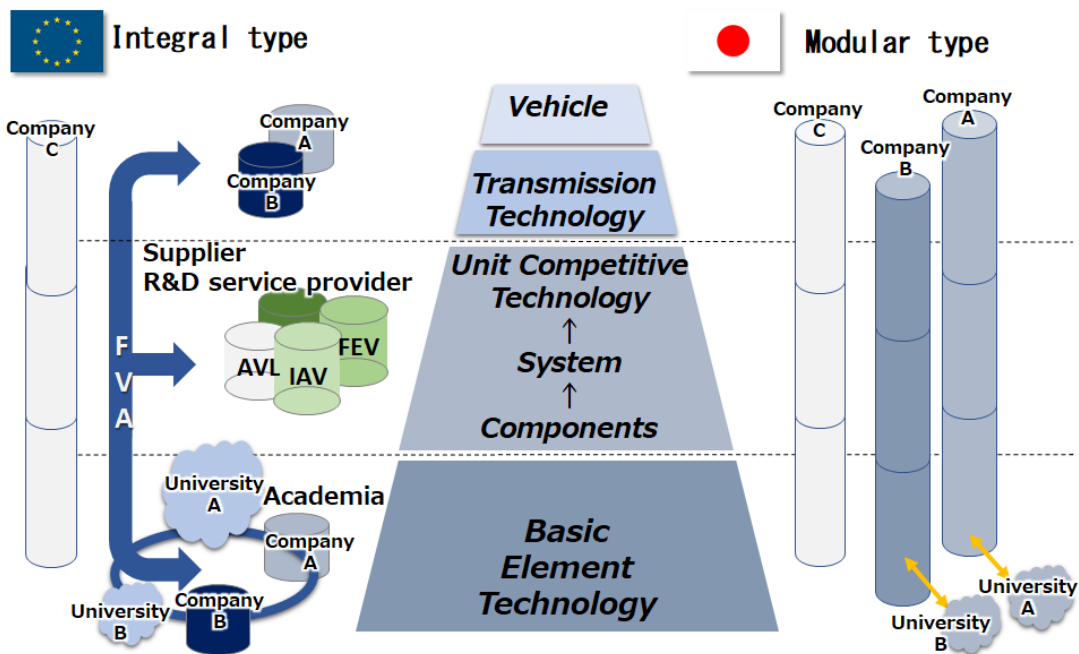


Fig. [5-3]. Difference between German and Japanese industry-academia collaboration styles: Germany follows the integral type; Japan follows the modular type (combination).

5.3.5 ドイツと日本における産学連携におけるアカデミアの役割

ドイツには、産学連携において重要な役割を果たす R&D サービスプロバイダと呼ばれるエンジニアリング企業が存在する。彼らは、大学およびその近傍に研究所を有するのみでなく、彼らはまた、クライアントのための研究開発の知識を提供するビジネスのために学生を雇っている。これらの企業は大学教授によって運営されているため、産業界と大学との人的交流も促進している⁽⁵⁻¹⁹⁾。図[5-4]にドイツにおける駆動分野での大学の研究分野と協働するエンジニアリング企業をまとめている。駆動の各要素単位に専門分野を設け、各大学に研究部門を設置していることがわかる。日本では、研究資源が多い大学では、産学官連携の拡大が期待されている。しかし、企業はドイツの研究機関やエンジニアリング企業との研究課題に頼っている実態がある。ドイツの大学やエンジニアリング企業では、応用工学・評価技術の基礎工学分野にまで連携している。そのため、日本企業は開発の一環として研究をこれらへの外部委託に期待する。

近年のグローバル化により、研究開発における競争や共創において、地

理的・時間的な境界はほとんど存在しない。日本の大学や公的研究機関は、工学的機能だけでなく、利便性、合理性、スピードについても競争力を持津必要に迫られていると考えられる。

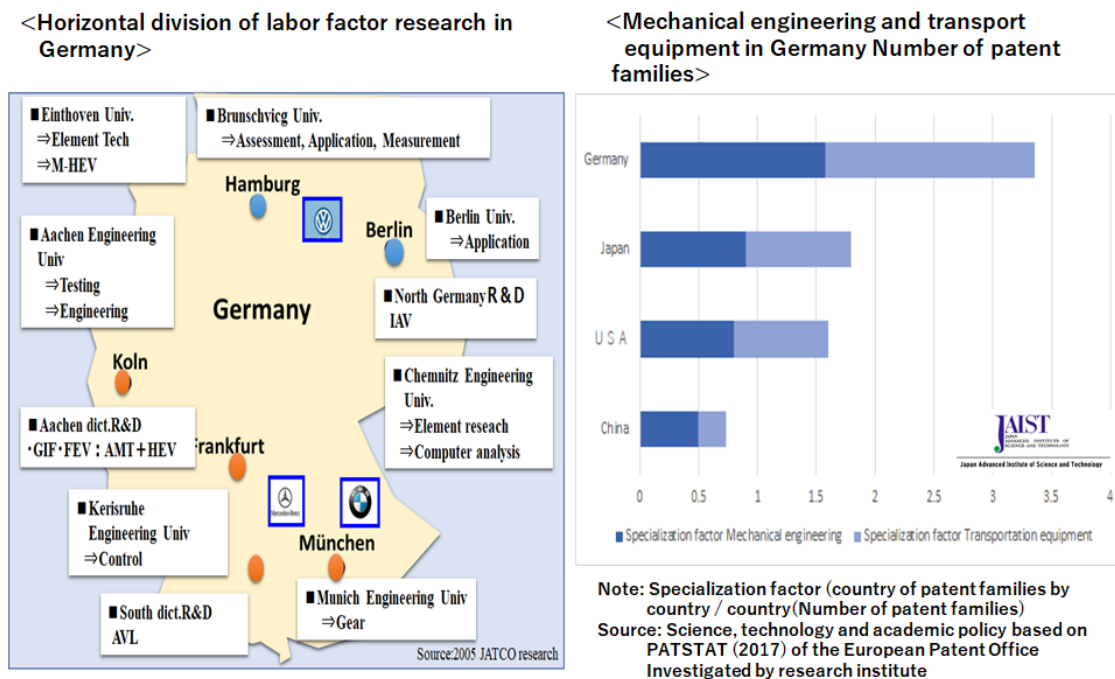


Fig. [5-4]. An overview of the division of universities in the field of drive technology in Germany ,and overview of the joint engineering companies

5.4 枠組みの提案

以上の考え方にに基づき、産学間の協働研究活動の枠組みは、ドイツと日本の違いだけでなく、環境(社会、日本の産業構造、組織管理、組織)の相違がある。図[5-5]は、コラボレーションに提案されたフレームワークの概略図を示す。フレームワークは、7つの独立したロールと1つの共有ロールで構成される。フレームワークの最初の役割は、コラボレーションのテーマの発見である。この役割では、コラボレーションのテーマは、コラボレーションのすべての参加者からの合意によって決定される。第2の役割として、すべての参加者が業界の実現可能性とインパクトの観点から、コラボレーションの期待される結果について議論し、視覚化する。また、加えて、実現可能性、期待される結果、産業への影響の観点から、コラボレーションに必

要な設備と予算について議論する。第 3 の役割は、コラボレーションの成果を実際の産業ニーズに採用する。第 4 の役割は、協調結果に基づく国費の取得等の金融活動を行う。最後に、7 番目の役割では、人的・財務などのリソースを再分配し、コラボレーションの強化である。この 7 つのステップを継続的に実施することで、循環のような持続可能なコラボレーションが実現される。前の 7 つのステップの中心には、コラボレーション研究の管理と各ステップを有機的につなぐ研究開発の役割が存在する。研究開発事業者は幅広い技術知識を持つことが期待されるだけでなく、コラボレーションのマネージャーとしての機能も期待されており、現在、日本にはそのような事業団体はないと思われる。持続的かつ成功したコラボレーションを推進するためには、研究開発事業者は、専門分野に十分な人材を持ち、日本で必要な技術を開発するための適切な実験施設を整備する必要があると考えられる。

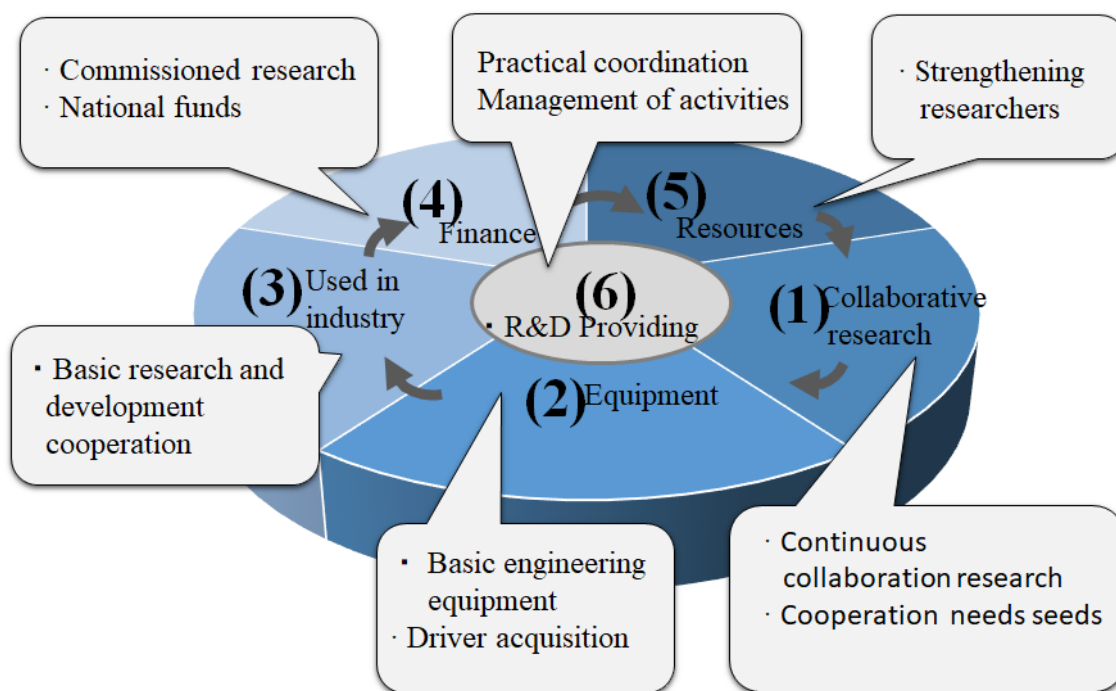


Fig. [5-5]. Framework of recycling and spiral up development process suitable for Japanese environment.

5.5 提案された枠組みに基づくコラボレーション例

5.5.1 協働研究テーマの発掘手順

このセクションでは、提案されたフレームワークを用いて提出された動力伝達システムにおけるコラボレーションのテーマを見つける実際の例を紹介する。

このコラボレーションは、自動車メーカ、ユニットメーカ、部品メーカ、学界など、業界構造の異なる階層構造の参加者によって行われる。表[5-1]は、研究テーマの収集から研究テーマの設定、目標設定までの要件と手順を示す。Step 1の予備準備段階では、参加企業の課題や研究テーマを集め、研究テーマの内容を客観的に再構築する。そして、特定のテーマを開発プロジェクトや基礎研究に分類する必要があるかどうかを決定する。Step2では、要約された研究テーマの類似性と客観性を検討し、各テーマで改善する項目を抽出する。Step3では、改善されたテーマの重要性とコラボレーションの達成に関する期待される結果が評価される。その結果、研究実施の順番が決まり、研究テーマのつながりが明らかになる。Step4では、コラボレーションの指標と測定方法が明らかにされ、これらはすべての参加者に共有される。最後に、Step7では、研究成果の定量的・定性的な目標値を決定する。

Table [5-1]. Process flow from finding the theme of collaborative research and setting goals

	Input	Discussion	Output	Notes
<STEP 1> Advance preparation	Blind collection	Objective edit Separation of R & D	Research term	Unification of Terminology
<STEP 2> Improvement Request	Improve matters	Objective of annoyances Assortment of priority	Agreement to improve matters	Undesirable effects
<STEP 3> Importance	Agreed improved matter	Challenges of vertical relationship Target value	Priority and reason for improvement	Connection of challenges
<STEP 4> Indicators of achievement	Priority reason	Measurement of results and gap	First index (value about vehicle)	Measurement allowance of first index
<STEP 5> Target value setting	Hierarchy of improving matter	Quantitative Qualitative Research value(academia) Persistence	Target and basis improvement Opportunities Benchmarking Best practice	Occurrence of reaction

5.5.2 期待される結果と所見の可視化例

このセクションでは、提案されたフレームワークの第2の役割の実際の例を説

明する。フレームワークの第 2 の役割では、コラボレーション結果 (主な調査結果) と期待される結果 (産業ニーズ) の関係が可視化される。図[5-6]は、動力伝達システム分野における主な研究と産業ニーズとの関係を示す。この例では、自動車技術会の協働研究センターが行う油圧ラインにおけるバブル発生抑制の協働研究⁽²⁰⁾ を紹介する。油圧ラインのバブル発生により、流体力の損失が生じ、気泡発生を防止することは、油圧制御を改善するための重要な技術である。この意向をもとに、自動車メーカー、ユニットメーカー、部品メーカー、学界の参加者を中心に、バブル世代の基礎的な協働研究を行った。本協働研究では油圧管における気泡発生抑制の観測と低減方法を検討した。しかし、これらの結果自体は油圧システムの知識に過ぎない。基礎研究の成果を活かすために、研究の成果(バブル発生抑制の原理)と期待される結果(バブルの制御方法)のつながりを可視化し、協働作業の第一段階で全参加者と共有している。また、その結果を開発に活用する方法も検討している。図[5-7]は、筆者が行った方法論の実施例を示す。開発における基本的な知見を採用するために、それらは Technology seeds を得るためにモデル化される。

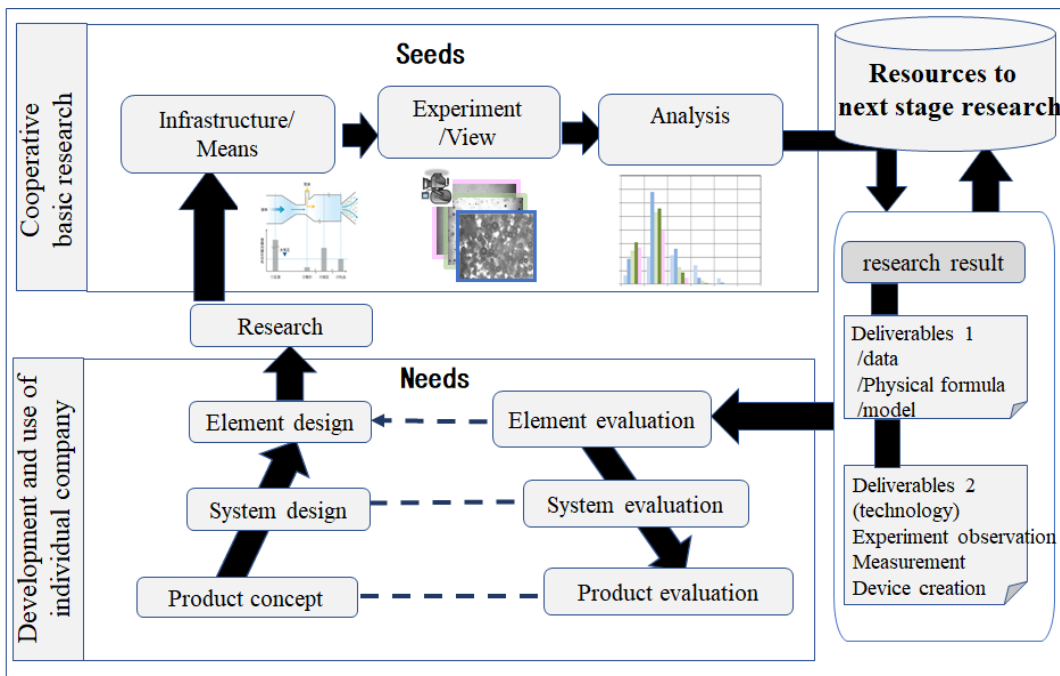
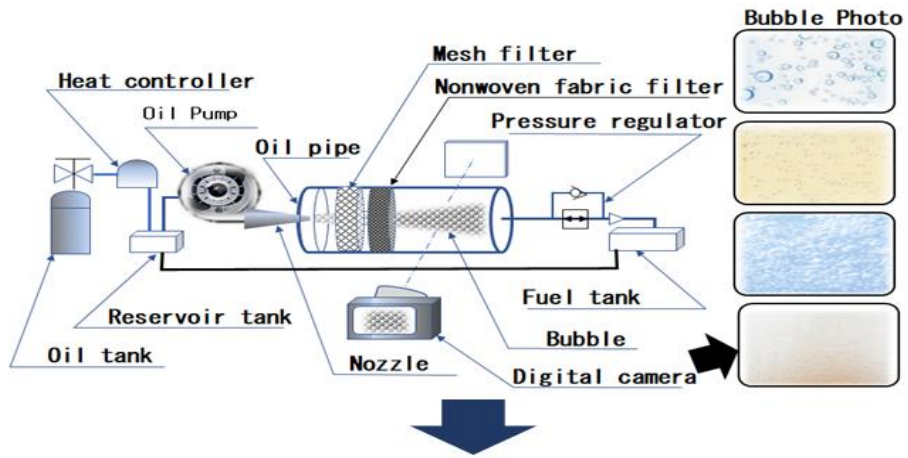
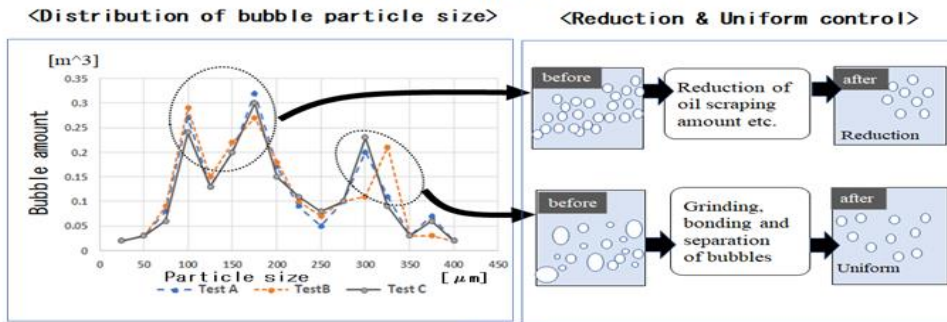


Fig. [5-6]. Connecting process corporate needs and joint basic research seeds.

<Experiment of bubble generation in oil>



<Analysis of air bubbles in oil>



<Modeling the effect of bubble content>

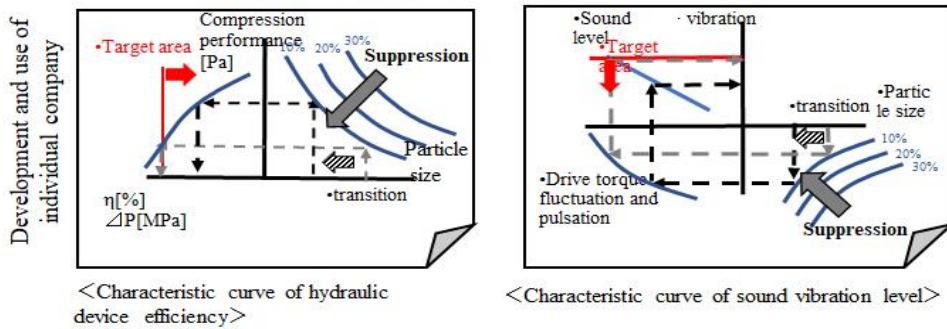


Fig. [5-7]. Acquisition modeling of technical knowledge (Technology seeds) by modeling for oil pressure control from basic experiment of air bubble generation in oil

5.6 コラボレーションの詳細な事例

このセクションでは、提案されたフレームワークの3番目の役割の実際の例を説明する。フレームワークの第3の役割として、コラボレーションの成果は実際の開発に適用されます。このセクションでは、自動車用の実際の連続変速機構の開発におけるバブル発生の基礎的知見の活用について説明する。この例では、コラボレーションの基本的な知見に基づいて、油圧ポンプのタイプが変更された。ギヤタイプの油圧ポンプは自動車の油圧制御のために広く使用される。しかし、図[5-8]に示すようにギヤポンプの体積効率はベーンポンプの体積効率よりも低く、ギヤポンプの気泡体積量はベーンポンプよりも高いことが知られている。加えて油中気泡の含有率の低減により、更なる機械効率の向上が期待できる。このことで、気泡発生を基礎的な知見を活かし、新型 CVT の油圧制御におけるギヤポンプの代替としてベーンポンプを採用したものである。気泡発生を基礎的な知見を活かし、新型 CVT の油圧制御用ギヤポンプに代わるベーンポンプを採用した。

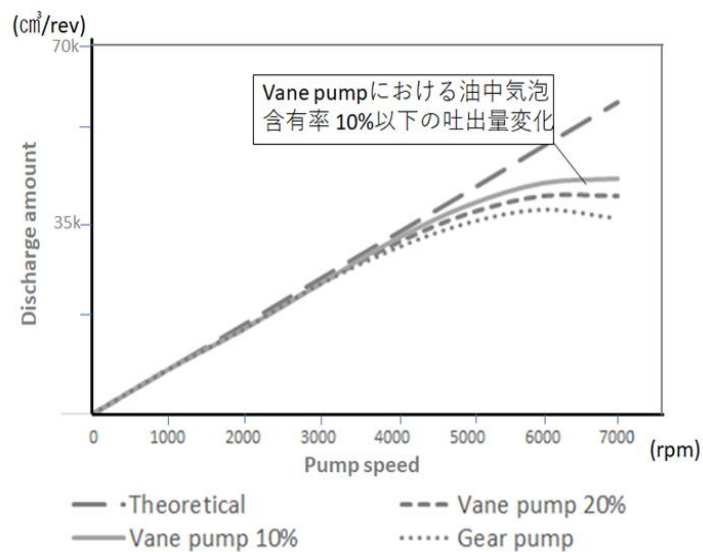
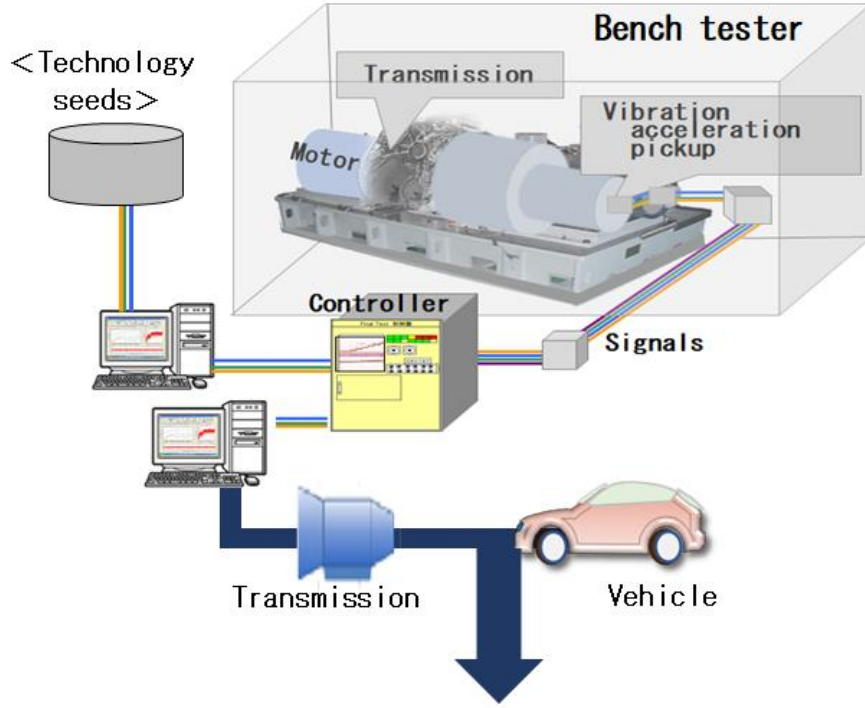


Fig. [5-8]. Graph of change in the amount of discharge due to a change in the content of bubbles in oil (10% ← 20%) in a hydraulic pump (vane pump and gear pump)

図[5-9]は、開発世代推移に順じた CVT の総合的な評価を示す。これらの結果から、ベーンポンプを採用するだけでなく、他の技術を追加し評価スコア上昇を示す。

<Demonstration experiment of hydraulic control improvement using a bench tester>



<Changes in performance of real vehicle>

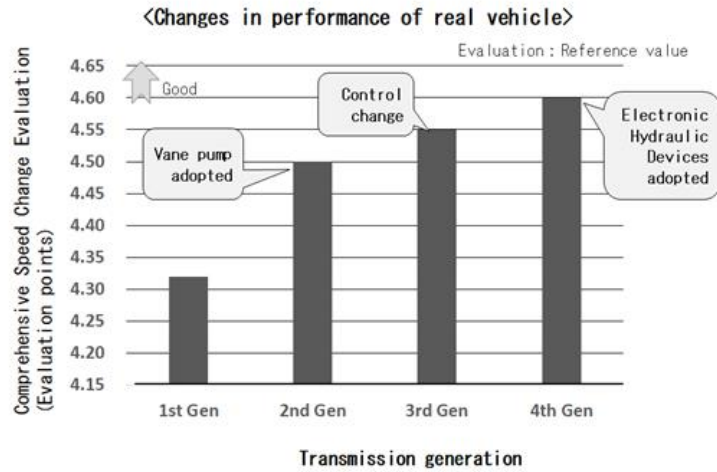


Fig. [5-9]. Applied research to analyze the technical data of basic research and investment of knowledge in vehicle development by the creation of technology seeds.

5.7 結果と考察

5.7.1 コラボレーションに関する枠組みの有効性

提案されたフレームワークの有効性は、前項で紹介した協働研究の参加者のインタビュー結果に基づいて評価された。参加者の属性は、自動車メーカ、サプライヤ(ユニットメーカ、システムメーカ、部品メーカ)、および大学に分類された。評価は、以下の視点に基づいて行われた。a) フレームワークの必要性、b) 協力の面でフレームワークがどの程度効果的であるか、c) 研究テーマ発見活動の有効性、d) 施設準備の枠組みの有効性、e) 産業成果への知見の利用、f) R&D プロバイディング、g) リソース確保、および h) 人材育成の機能を提供する。評価は、以下の指標を用いて定量的に行った:7, 非常に良好;4, 良い;3, ニュートラル;2, 悪い;そして 1, 非常に悪いとしている。ただし、g)と h)については仕組みの一循環では評価が難しく、今回は評価していない。

本研究では、活動を促進する上での枠組みの有効性を検討するために、項目 a)から f)が主に本稿で論じられる。図 [5-10] は、各参加者の属性に関する各参加者の平均スコアを示す。インタビューの結果、参加者の属性にかかわらず、すべての項目で肯定的な評価が得られたことが示された。

5.7.2 連携を推進する上での枠組みの有効性

このセクションでは、活動を推進する観点からインタビュー結果について議論した。項目 a)及び b)のインタビューに注意を払う際に、これらの結果が示唆された。この枠組みは、参加者間のコラボレーションに対する価値とモチベーションの共有を促進したため、フレームワークの必要性が十分に理解された。また、枠組みによる連携のアプローチを共有することで、協力に対する枠組みの有効性の評価もポジティブである。参加者の属性に関する評価結果の違いを考えると、サプライヤと学界による評価はほぼ同じ傾向を示した。しかし、自動車メーカの評価は、サプライヤや学術に比べてやや低かった。この結果は、このインタビューが 1 回のコラボレーション研究結果を対象としており、活動を推進する持続性が十分に評価されない可能性があるために評価が低い。

5.7.3 産業ニーズに対する知見を活用するための枠組みの有効性

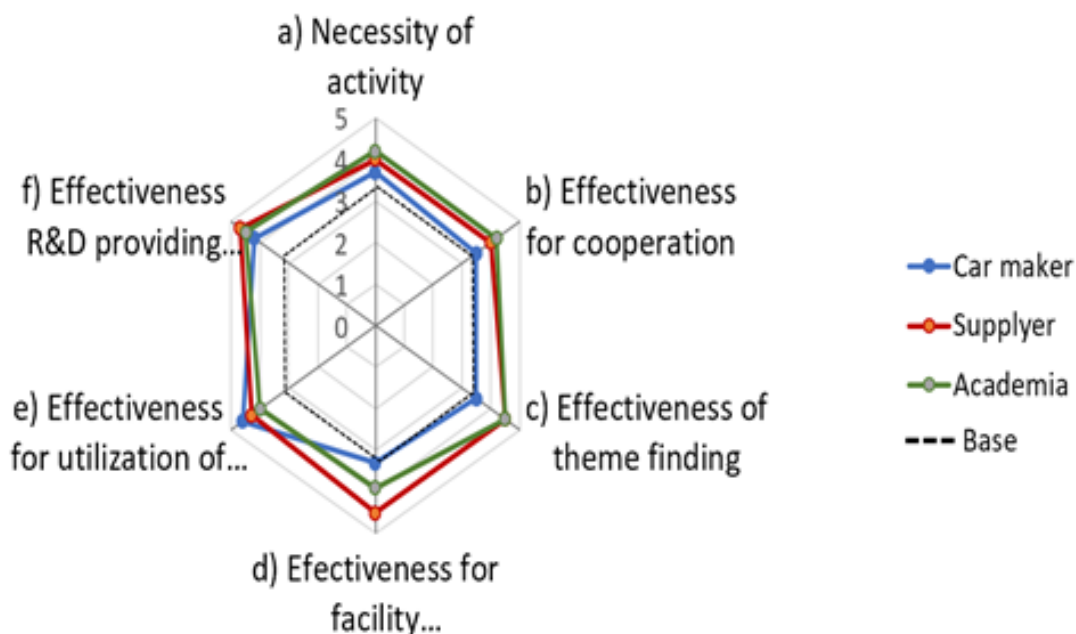


Fig. [5-10]. Evaluation score of interviews.

本セクションでは、研究テーマ発見活動の有効性、施設の準備、調査結果の活用の観点から、インタビュー結果について議論した。項目 c)では、提案されたテーマ発見活動を用いて研究テーマとその目標値を共有することで、サプライヤや大学から肯定的な評価を得た。同様に、項目 d)でも、施設を準備する動機を共有することで、サプライヤと大学の肯定的な評価を得た。一方、項目 c)及び d)については、自動車メーカーの評価スコアは他社に比べて低かった。これらの結果は、次のように説明できる。自動車メーカーは、テーマの発見や施設の準備などのコラボレーションの準備と比較して、コラボレーションの結果が車輛の性能にどのような影響を与えるかに関心を持つ。この事項は、項目 d)の評価によってサポートされる。提案された枠組みに対する肯定的な評価は、この枠組みが実際の産業ニーズに対する知見を利用する上で有効であることを示している。この結果は、基礎知見を産業ニーズに活かすためには、基礎的な知見を物理モデルなどの技術シーズに変換する必要があることを裏付けたものである。

このことは、言い換えると直接つながらないニーズシーズへの対応の一手段と言える。ニーズ（車両運動性の向上）とシーズ（油中気泡の制御）とが一対一に対応しない様な場合においても、非競争領域での協働基礎研究の成果が、競争領域での製品開発に有用であることが示された。具体的には、油中気泡発生現象の把握とその制御という原理側（Science と Technology）での成果が実際の動力伝達システムである変速機開発という応用側（Development と Production）に至る過程を可視化し、協働基礎研究の有効性を明らかにした。一方、原理側で獲得したシーズと応用側のニーズとの間には隔たりが存在することから、協働基礎研究での成果を、応用側で活用が容易な形で提供する必要性が確認できた。本研究では、原理側での成果を応用側で活用するに際し、気泡の含有体積を変化させた場合における物理特性のモデル化を行っている。先に示した図[5-8]にモデル化の具体例として油圧ポンプの効率と含有気泡との関係および振動と含有気泡との関係を示すが、この様に含有気泡の特性と油圧システムの構成設計に必要な知見とをモデル化することによって、協働研究から得られた成果を一部品における技術資料（Technical data）から、車両開発プロセスの中間に位置する、ユニットメーカーやシステムメーカーが利活用可能な技術成果（Technology seeds）へと昇華させることが可能となる。具体的には、本研究によって得られた、気泡の集積、脱泡消泡、気液分離安定性メカニズムといった基礎原理や制御技術のモデル化により、体積効率の良く、且つ高圧での高エア含有対策としてキャビテーション抑制の為にフローコントロールバルブを廃止したベーン式オイルポンプの変速機への応用検討が可能となった。さらに、ベーン式オイルポンプは小型化や配置の自由度が高く、この利点を活用して管路の引き直しによる油圧デバイスシステム全般の再配置提案にも結び付く。結果的に油圧応答性の向上による指示通りの変速状態や、変速スピード向上を目指す新型ユニットの実現に至ることとなる。この様に得られた知見を技術成果としてまとめることによって、原理から応用まで、開発プロセス構造の異階層に属する参加者によって構成される協働基礎研究の成果を、参加者全員で共有できることになると考えられる。

5.7.4 コラボレーションのためのエンジニアリング機能の有効性

最後に、このセクションでは、研究開発の提供機能がどのように効果的に連携を行うかについて、インタビュー結果について説明する。提案された枠組みでは、R&D

サービスプロバイディング機能が 7 つの活動のそれぞれをつなぐ役割を果たす。したがって、項目 f) の平均スコアは他のものよりも高くなる。参加者による評価から、本機能の重要性は、以下の 2 つの要件に分類できる。第 1 の要件は、協働研究テーマをコントロールするコーディネーターの役割である。産業側の参加者が自社の利益を代表しているため、競合企業間で人材、設備、資金を均等に管理することは困難であると考えられる。一方、大学の参加者の主な役割は研究を行うため、経営の役割を果たすことは視点が異なると考えられる。第 2 の要件は、基本的な知見と産業ニーズとの関係を明確にできる人材である。産業発展のための連携成果を活用するためには、基礎的な知見と産業ニーズとの両社の関係を明らかにすることが重要である。さらに、知見の利用を容易にするためには、技術ニーズを大学シーズに翻訳する必要がある。このような役割を果たすには、関連分野に関する幅広い知識が必要だけでなく、コラボレーションや開発などの経験が必要と考えられる。今回の油中気泡の制御確立研究テストケースでは、中立的な組織の知識豊富な人物が代わりに役割を果たしている。しかし、持続可能なコラボレーションのためには、独立した研究開発プロバイダーが必要であることは明らかである。言わば、技術マネジメント視点での活動と言える。具体的には、活動推進フレームワークと言う仕組みの設定と仕組みをコントロールする機能の必要性とマネジメントである。活動推進フレームワークでは、協働研究事業に参画する企業や大学・公共研究機関に対し、協働研究における開発プロセスや技術レベルの平準化を進め、研究成果とその価値の共有を課題とする。協働活動においては、価値の共通認識が必要であると共に価値創出の考え方などの共有・共感が必要である。本研究では、図[5-11]に示すように、協働研究事業における活動を、計画策定、管理および研究開発の 3 つに分類し推進した。また協働研究事業における進捗状態を、共有段階、協働段階、実行段階および評価段階の 4 段階に分類した。各段階における活動を述べると、まず、共有段階においては、研究開発活動によって、産学官より研究ニーズおよびシーズの抽出を行う。また、計画策定活動によって、産学官実行段階では、研究開発活動によって研究を実行し、計画策定活動によって研究成果の開発への適用などの価値創出を行い、管理活動によってその評価を行う。評価段階においては、管理活動によって、研究成果を用いた出口戦略の策定を行った。

活動コンセプトや目標値などを共有し、管理活動によって、協働研究の必要性、必然

性を共有するとともに共感を得ることを目指した。協働段階においては、研究開発活動によって研究テーマの発掘を行い、計画策定活動によって、研究テーマの集約と研究の範囲を協議し、管理活動によって研究テーマ領域の設定、リソースの配分などを行うこととした。

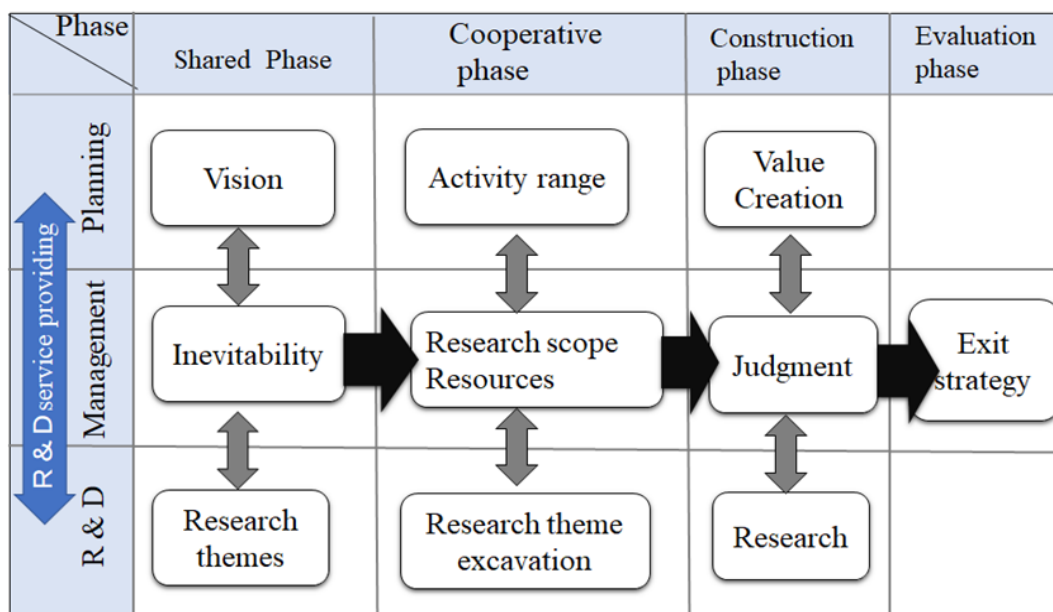


Fig. [5-11]. Technical Management and Research Activity Overview: Details of each step in the four stages of activity.

いずれの段階においても、管理活動では、研究開発活動および計画策定活動での協議結果を基に、両者の内容の整合性を確認する。フレームワークは、7つの独立したロールと1つの共有ロールで構成されるが、共有ロールにおいては図[5-5]に示すような仕組みと手順により、更なる参加者の理解が進み、かつ、進捗状況の把握も容易となる。

5.8 結論

本研究では、産学連携の効果的な枠組みが提案され、実際の連携でその有効性を検討した。具体例として油圧配管内に生じる気泡の可視化という基礎研究によっ

て得られたシーズが、車輛用無段変速機の応答性向上というニーズへと結びつく過程を可視化し、原理側 (Science と Technology) と応用側 (Development と Production) という開発プロセス構造の異階層で協働基礎研究の成果を共有する一連の活動方法論について検討し、以下の結論が導かれている。

- (1) 評価は、参加者の属性にかかわらず肯定的な評価が得られたことを示した。
- (2) 参加者間のコラボレーションに対する価値とモチベーションの共有を促進する枠組みのため、フレームワークの必要性が十分に理解された。
- (3) 提案されたテーマ発見活動を用いて研究テーマとその目標値を共有することで、サプライヤや大学から肯定的な評価を得た。
- (4) インタビューの結果、独立した研究開発事業者 (R&D サービスサービスプロバイダー) が持続可能なコラボレーションのために必要であることが明らかになった。
- (7) ニーズ (車輛運動性の向上) とシーズ (油中気泡の制御) とが一対一に対応しないケース研究においても、非競争領域での協働基礎研究として原理側 (Science と Technology) で得られた成果を、技術成果 (Technology seeds) としてまとめることによって、開発プロセス構造の異階層に属する参加者構成の協働基礎研究の成果を共有できると考えられる。

参考文献

- (5-1) 田中宗介, 新井次郎, GIA フォーラム(自動車工学会) - 次世代自動車の普及に向けて - (2017)
- (5-2) 新井次郎, 次世代自動車の普及について, 経済産業省 経済産業政策局, 自動車工学会スプリング GIA フォーラム講演会(2017年)
- (5-3) 山田道夫, 文部科学省, 産学連携の現状と今後の展望, ポリマー(2000年), p.218-221
- (5-4) 経済産業省 経済産業政策課 自動車産業戦略課, 自動車産業の次世代戦略 (2014年)
- (5-5) JETRO, Japan External Trade Organization Overseas Research Department Overseas Research Planning Section, 2017 automobile production and sales trends in major countries November 2018(2018).

- (5-6) 科学技術政策研究所(<<https://www8.cao.go.jp>>)(2019年8月28日アクセス).
- (5-7) JAIST, Japan from the point of view of science and technology indicators 2018: Focus on the structure of knowledge production (2018), p 271.
- (5-8) 守本四郎, 連続可変伝送 CVT の入門, グランプリ出版株式会社(2004)
p.107-108
- (5-9) Kusaka, J. Industry-academia collaboration in German FVV, Society of Automotive Engineers of Japan, ENGINE REVIEW Vol. 4 No2, (2014), p.7-8.
- (5-10) 延岡健太郎, 経済新聞(2007年) p. 217-223
- (5-11) 原嶋茂, コンカレントエンジニアリングの本, 日刊工業新聞社, (2017)
- (5-12) FVA, The Research Association for Drive Technology Germany Annual Report, Euro forum (2017).
- (5-13) FVV, The Research Association for Combustion Engines Germany Annual Report, Euro forum (2017).
- (5-14) 経済産業省 経済産業政策課 自動車産業戦略課, 自動車産業の次世代戦略 (2014年)
- (5-15) 経済産業省 経済産業政策局 学連携推進課, 技術研究組合ガイドライン (2014年)
- (5-16) 藤本隆宏, キャパシティ・ビルディング・コンペティション, 中央公道新書 (2003), p.87-90
- (5-17) クレイトン・クリステンセン, 「革新のジレンマ」, 正栄社(2001年).
- (5-18) 藤本隆宏, キム B, クラーク, 製品開発能力(2008), ダイヤモンド社,
p. 4-8, 134-171, 177-181.
- (5-19) Araiso, T, The structure and function of Industry-Academia-government cooperation system in USA and Europe. Vol. 10, No. 1 (2014), pp. 2-12
- (5-20) JSAE, Industry-Academia-Government Joint Research Center Spring meeting report (2014)

第6章 産学共創基礎研究に関する推進マネジメントの研究と考察

6.1 はじめに

乗用車の動力伝達システム（本稿ではシステムの中のトランスミッションを扱う）の動向を俯瞰すると、1980年代まではマニュアルトランスミッションが主体の時代であった。1990年初めになり低炭素社会への要求が出始めた時期と同時にモータリゼーションの普及に従い、燃費と共にイーゼードライブや運転性の要求の潮流が広がってきている。世界の自動車産業では内燃機関の革新と同時に燃費や運転性を作り出す動力伝達システムの中で特に自動変速機の研究が盛んになり、技術革新が市場を広げ、特徴ある形式の変速機が林立する。市場拡大に同期し事業を推進する企業では性能競争に打ち勝つ諸手段が進められてきた。近年さらにCASEと称する車内外の情報連携、自動運転、車の利用形態やサービス、電動化（ハイブリッド・電気自動車）においても動力伝達システムの役割の重要性が認められ性能競争がさらに進んでいる⁽⁶⁻¹⁾。

その一方で、車輻に求められる、走る、曲がる、止まるという基本性能を、高いバランスを保ちながら継続的に向上させる必要がある。このため、車輻基本性能に共通の基礎技術領域では企業系列を超え、我が国の研究資源の多くが集中する大学の知見を活用した、産学協働研究による効率的な研究開発が求められている⁽⁶⁻²⁾。

日本の特徴的な自動車産業構造は垂直統合型と呼ばれ、商品開発から原理研究に至るまで個社の中で完結しようとする形態を取る⁽⁶⁻³⁾。加えて企業間の激しい技術競争、系列による委託と受託関係などのため、協働研究に参画する企業間において利害や目的の一致を図るには課題が多い。この為、産学協働して基礎研究を推進する経済産業省主導の技術研究組合活動においては、2014年時点で全77団体の活動の内、自動車産業に直接関連する活動は3活動に過ぎない⁽⁶⁻⁴⁾。また、車輻の開発に携わる開発研究プロセスは、最終製品を製造・開発する車輻メーカー、ユニット開発を行うユニットメーカー、システムメーカー、部品メーカーからなる多層構造となる。そのため、階層の中間に位置する属性が異なる企業では、基礎技術領域における協働研究

の成果が、自社の製品開発に応用可能であるかの判断が必要とされている⁽⁶⁻⁵⁾。加えて研究資源を有する大学においても、産学連携は大学がその研究成果を社会全体に還元する有効なシステムでもあることから、活動を通じて大学は研究の価値を明らかにする必要があると言われている⁽⁶⁻⁶⁾。

6.2 現状把握

車輻用動力伝達機構に関する産学連携では、産学一対一もしくは同業数社が大学と連携する産学連携プロジェクト活動が主体となっており⁽⁶⁻⁷⁾、階層間において必ずしも利害や目的が一致しない複数層の企業が参画する活動はほとんど行われていない。また、車輻ニーズと基礎研究との関係が直接的ではない自動車用動力伝達システム技術領域では、産学協働研究より得られた基礎技術領域での成果と車輻基本性能との関係は明確に関連付けられていない。このために協働研究の継続的な実施には、参画する開発プロセスの階層違いや競争アイテムを有する企業群や学に対して、階層を越えて成果の価値を共有する現状の把握によるアプローチ方法と仕組みの検討が必要となっている。

6.2.1 図面から見た系列と従属性

OEMとサプライヤの関係は承認図か貸与図の事例が挙げられる。貸与図方式は主体がOEMに属し図面案出する側が権限を持ち授受関係を作る。一方承認図方式はその反対である。近年OEMとそのサプライヤは日本独自の系列産業構造を構成するとともにOEMよりもサプライヤが研究開発力を有しているケースも多く存在するようになっており、研究内容や価値視点の摺り合わせは日常的に行われるようになってきている。この関係性は新規市場開拓や新規技術開発などでのシナジー効果を生み出すことが狙いであるという共通点がある。一方、系列を超えた取り組みは系列間競争力とリソースのトレードオフになり共創基礎研究に共感を生み出すことが重要な命題となる。日本の産業の特徴は、系列というOEM・サプライヤ・エンジニアリング間で強靱な連携で構成される。また、系列間においては相互知識疎通には暗黙知が多く部分を占めている企業もあると考えられる。一方系列内での垂直統合、多階層に繋がるサプライヤは自事業の直接の上下階層、特に上位の課題に視点が当たるがそれを超えると急激に関心が薄くなるのが活動の事前聞き取り調

査で判明している。さらに産学連携各社の同一技術分野の研究者・開発者が集まるものの各社はそれぞれの専門の領域（深度）が異なり、テーマアップを探索する方法も特徴を持つ。現状は、我が国における図面を軸とした主従関係は摺り合わせによる開発の基盤となっている。個々の図面の集合としてのシステム全体での性能向上は図面の受け手では不可能となるケースが出る。このことから、MBD導入によるシステム性能を設計するCAEにより成果の最適化の必要があり、図面単位の性能の取り合いや性能の相反を防止する必要がある。

6.2.2 イノベーションと活動価値

イノベーションは破壊的イノベーションと持続的イノベーション（インクルーブメント）に分けられる。産学官連携では、官・学視点からは破壊的イノベーションを期待する。一方、企業は自事業のドメインから外れるとその分野についてイノベーションは共通基礎研究の範疇に当てはまらないと見ている実態も見受けられる。車輛における機械効率の性能向上進展の範囲と前置くが、「基礎を積み上げて完成した技術は、基礎を積み上げなければ追いつき追い越すことはできない。」という基本原則が持続的イノベーションの特徴を持つ考え方に立脚している。一方自動車産業のような事業技術分野として技術視点から高原状態になっている産業では、特にこの持続的なイノベーションが競争力の源泉になることから産学官の連携による共創基礎研究の価値があると考えられる。

企業活動で特に対外的活動では、活動の基本的考え方、いわゆるビジネスモデルというビジネスの設計図を可視化することは通常行われている。ここで織り込まなければならない項目は事業価値とその基準である。協働活動のためには、暗黙知の形式値化による価値の共通化が必然である。このためには、連携の基準の考え方などの共有が必要である。したがって、産学官の連携研究活動は、準備～開発の出口までを設計して共有する必要がある。松島は、ビジネスモデル設計図はその中に戦略を実装すると述べている⁽⁶⁻⁸⁾。

筆者はまず、この戦略（事前準備～コンセプト策定～研究テーマアップ～リソース確保～出口戦略）を産学参画者全員で共創し共有することを提唱する。戦術が共有化され練り上げられことで、戦闘（研究実活動）に共有価値を見出せると考えた。価値を共有するには活動のコンセプト、ありたい姿、やりたい事、やりたい範囲、目標

値（定量・定性），研究テーマとその評価軸，出口戦略の順に活動のキーとその内容を共有し共感・協働化に結びつけることが重要であると考えられている。

6.2.3 産学官各々の連携価値の違い

日本の自動車産業のOEM～サプライヤに至る業界の技術者研究者が集合し，大学，公共研究機関，そして監督官庁が連携した産学官連携による研究の協働化の視点の現状を，動力伝達システム協働活動の初期の聞き取り調査で把握した。図[6-1]に示すように各団体の連携の目的や価値の違いがある。産は現状の困りごとを軸に，学では研究者の育成や研究を軸とした成果を，官は産業のあるべき姿の追求と各々視点が異なる。利害は必ずしも一致しない団体（企業・大学・公共研究機関）が活動のベクトルを合わせる必要があると言える。

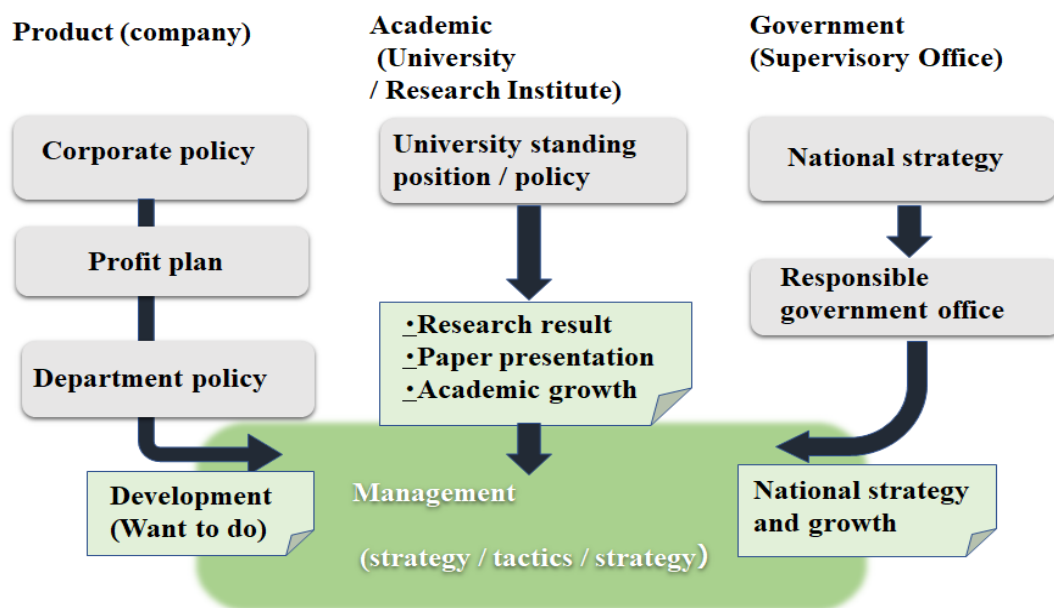


Fig. [6-1]. Industry-academia-government perspectives and technical management

6.3. 推進システムにおけるツールの提案

6.3.1 動力伝達機構のアーキテクチャ

企業間技術開発競争が日本国内だけでなくグローバルに行われている自動車産業

に焦点を当てる。本産業の製品に位置するOEM（カーメーカー）では、車輛の性能は「走る、曲がる、止まるという基本動作における燃費と運転性能を高次元にバランスを取る」が日常的に性能・技術論議となっているのは過去も現在も同様である。この性能のローガンというべきものを実現するために、図[6-2]に示す車輛の動力伝達機構ではOEMから Tire1～N のサプライヤーアーキテクチャ（開発階層構造）において、車輛性能、要素システム、種別仕様、要素、原理に至るまで複雑に分解（企業では性能の予算分解と呼ぶこともある）される。この図は要求される性能から動力伝達機構を構成する開発プロセスを構成している。この形態がベースになり日本の自動車産業では研究から開発に至る垂直型統合を形成しており、個社別に車輛から要素の原理研究までを一貫してとらえている。一方欧米、特にドイツ圏では産業の階層別に分担し競争力を得る、水平分業が主流となっている。この開発の特徴は機能完結型的な要素を標準インターフェイスで結合することで合理性を生んでいる「モジュラー型（組み合わせ型）」アーキテクチャを多く活用しており、シミュレーションモデル化が容易と言われ、ツールとして活用されている。

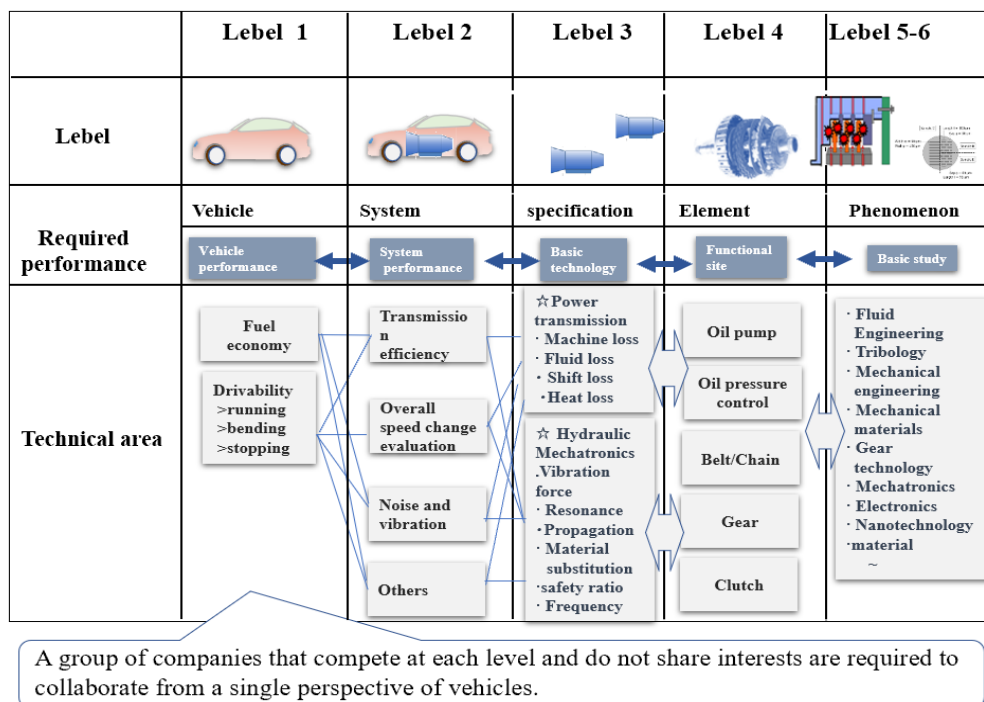


Fig. [6-2]. Architecture of structural hierarchy in power transmission systems

6.3.2 V字プロセスにおける学研究領域

これまで、日本はインテグラル型で商品を開発し、欧米はモジュラー型で商品を開発する特徴を述べたが、インテグラル型は事例として、前述のようにソレノイドバルブという電子制御系デバイスの開発を上げると、インテグラル型の我が国では上位の性能から最適解となる性能を捉え個別の最適解の性能の要素システムを開発する。この為、上位の機種が多くなるとそれぞれの要件を満たした最適解の製品が生まれることになる。一方、モジュラー型の欧米ではソレノイドの基本性能・機能を突き詰めこれを「標準」と置く。この標準の研究が産学官連携で進められる。そして、研究が終了し開発段階になると個社では性能・機能の要求に応じたバリエーションとしてそれぞれの事業領域に特化した開発を担当するというものである。インテグラル型の日本では、摺り合わせ型であることから開発の後半に摺り合わせでも初期段階からのボタンの掛け違いが起こった後では基に戻る大きな開発期間・工数の損失を被る。

企業開発プロセスで特に制御設計で使われるV字プロセス手法がある。V字プロセスを説明する。図[6-3]に示す左方は顧客情報から製品戦略、システム設計、要素設計へと階層で分解され、右方ではその設計の検証を階層単位に行うものである。製品戦略時点から製造の最終工程である生産技術視点での検討を加えることが通常である。言わばコンカレントエンジニアリングと呼ばれる方式であり、我が国では必然的にフロントローディングを生む環境にある。加えて日本の組織の特徴は専門分野が細分化されている欧米のような個の技術が重視されている特徴ではなく、企業によっては大部屋方式（一種のプロジェクト様式）という同席で技術を持ち寄ることにより、システム単位での性能開発を実現することを特徴とする組織体制、言わば集学的組織という構成で問題解決を図る仕組みとなっているのも特徴である⁽⁶⁻⁷⁾。同じ、V字プロセスであっても我が国とドイツでは階層をつなぐシステムが異なっている。加えて、学の研究領域では我が国は原理に特化する傾向があるが、ドイツでは基礎工学にまで領域を広め、開発視点でのV字プロセスに機能として深くかかわっている。

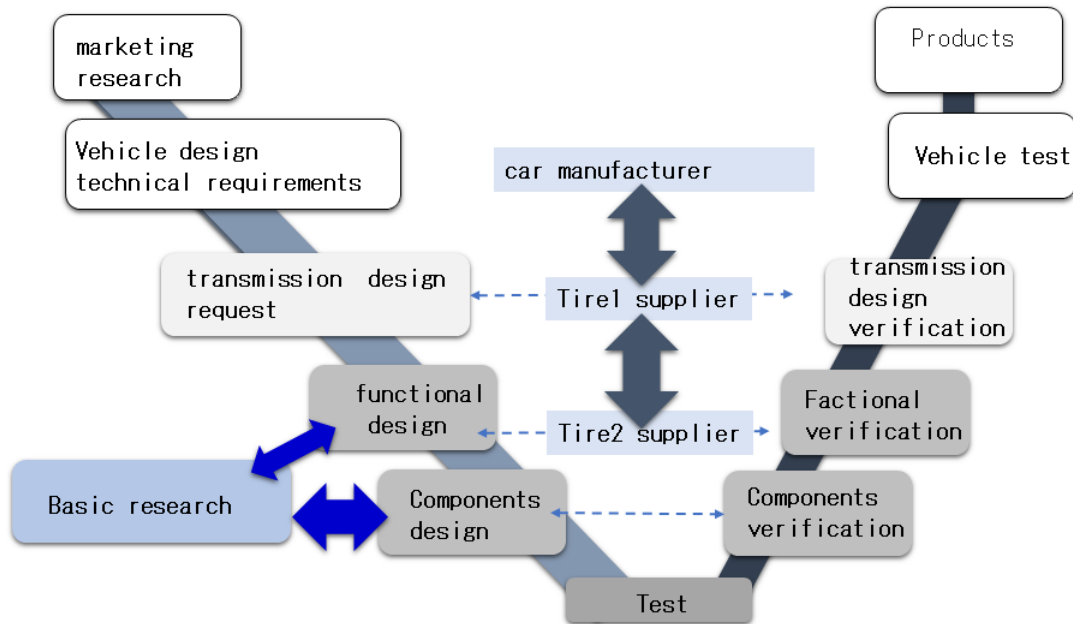


Fig. [6-3]. Transmission V-shape process in vehicle development

6.3.3 V字開発プロセスとMBD活用の領域

車輛メーカーは、サプライヤへ要求仕様の提示により開発要求を提示する。これに従い、サプライヤでは基本開発を行い、開発に必要とされる基礎研究がおこなわれ、構造・機能要件によっては原理の研究を学に研究委託する。研究の成果を生み出す学では開発における機能開発や要素部品開発の原理を解明する。学では原理解明の成果として Technical data をその成果とするが、近年では産業界で開発に供する目的から CAE を活用した解析により性能変化を確認する。これにより Technology seeds へと昇華させるケースが見受けられる。具体的には設計に直接反映が可能な 3DCAD を活用したシミュレーションモデルがあり、このデータを取り込み自社開発製造に供試し産側ではCAMによる製品開発から製品製造に繋がる。こうした MBD を有効利用した研究開発が進められている。図[6-4]は動力伝達機構の開発プロセスにおけるMBDが影響可能な範囲を示している。

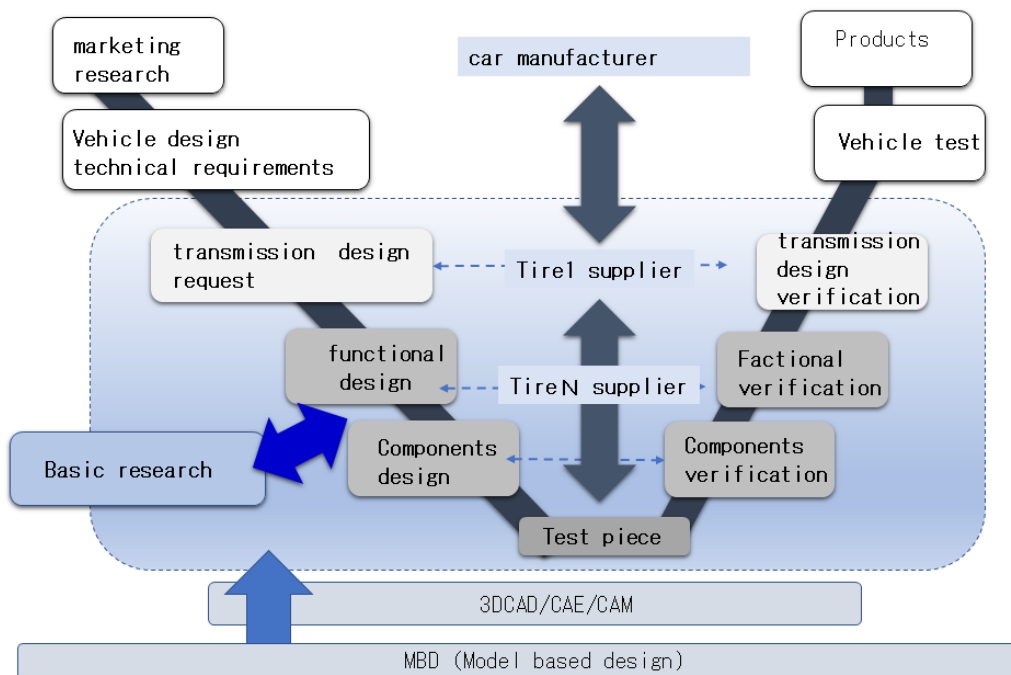


Fig. [6-4]. V-process of transmission and range of MBD in vehicle development

6.3.4 動力伝達機構のMBD

我が国の動力伝達機構のMBDの普及状況は、車輛開発メーカーと学による基礎研究の領域で活用が進んでいる。両者をつなぐことで車両開発から基礎研究までをデータリンクさせることが利用の拡大に貢献する可能性がある⁽⁶⁻⁹⁾。図[6-5]では動力伝達機構における各社の階層と中間に位置するシステムの連繫を示す。

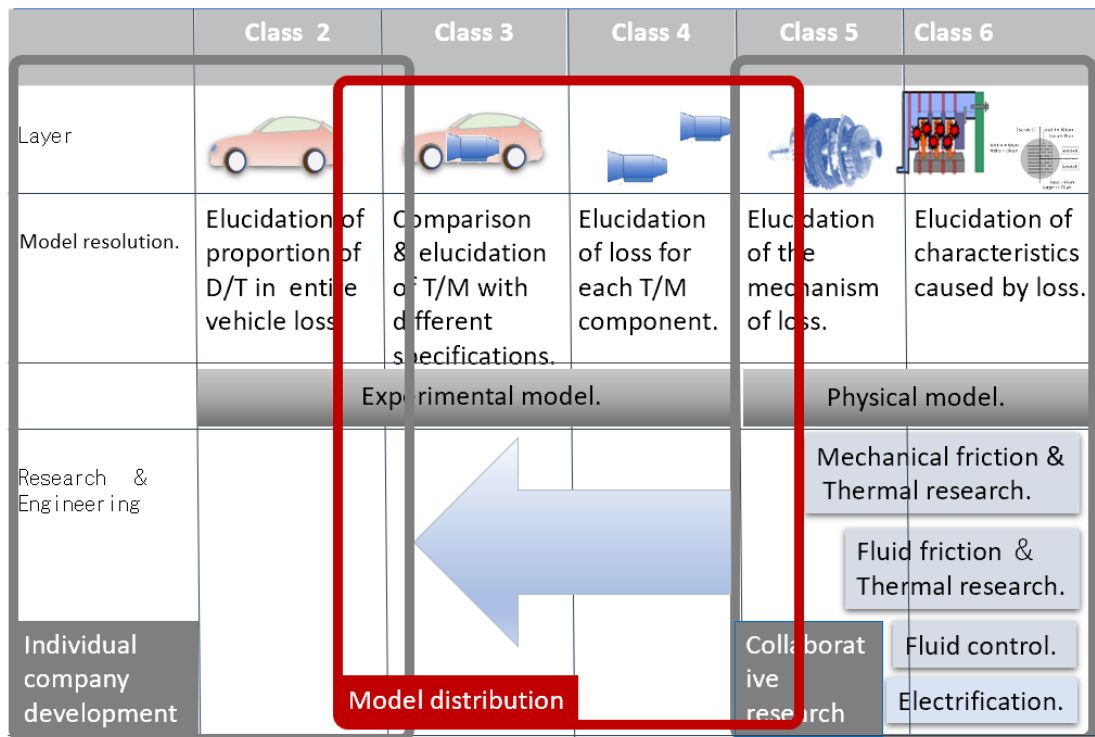


Fig.[6-5]. Model distribution linking vehicle development and basic research

6.3.5 データ処理と施策

動力伝達機構では開発プロセス階層が深いためMBDでは様々なケースを想定する必要がある。Drivetrain Model は図[6-6]のように Power Transmission Mechanism が 7 つの技術要件要素 Model からなり、原理階層では流体制御、流体・熱効率、機械効率・熱の各性能からなる。これら階層は原理が製品ユニットの性能への影響を分析するには研究各階層を全ての粒度ランクのモデルをつないでおく必要がある。一方データ処理では、背反が想定される。第一に 詳細モデルを全装すると計算が重くなり実用に耐えられない。第二に粗い粒度では極一部のサプライヤしか使えず価値の共有にならない。且つ、ユニットや車輛層に連結できないために相互の性能影響が計れない。ここで検討が必要となる。協働基礎研究階層では 3DCAD の活用により 1 秒をスーパーコンピュータで何日もかけて計算するが、成果は 1 秒を 1 分以下で計算するレベルまで粒度を荒くする必要がある。実用に耐えるレベルまで上げるには、1 秒を 1 秒以下で計算し、最終製品である車輛への影響が過渡変化シミュレーションが必要となる⁽¹⁻¹⁰⁾。また、駆動系モデルの各階層の粒度、駆動系要素モデルの適用

範囲，各リダクション工程の設定、すなはち、どの程度の粒度リダクションが開発プロセス階層を遡って原理設計成果が車両への性能への反映となるか要求に即した検討および施策が必要となる． 車輛用動力伝達機構では開発プロセスの階層が深いいため，MBDでは様々なケースを想定する必要がある． 実施においては、ソフトウェアの統一および連携，各階層リダクションの粒度，システムのソフト更新（更新が止まると活用も停止），新規構造や機能の改変に伴うソフト更新，システムのハード保守管理，運用の責任部署（誰がどこで管理するか），機密保持，資金投入の継続性などが考えられ，事前の十分な施策検討の必要がある．

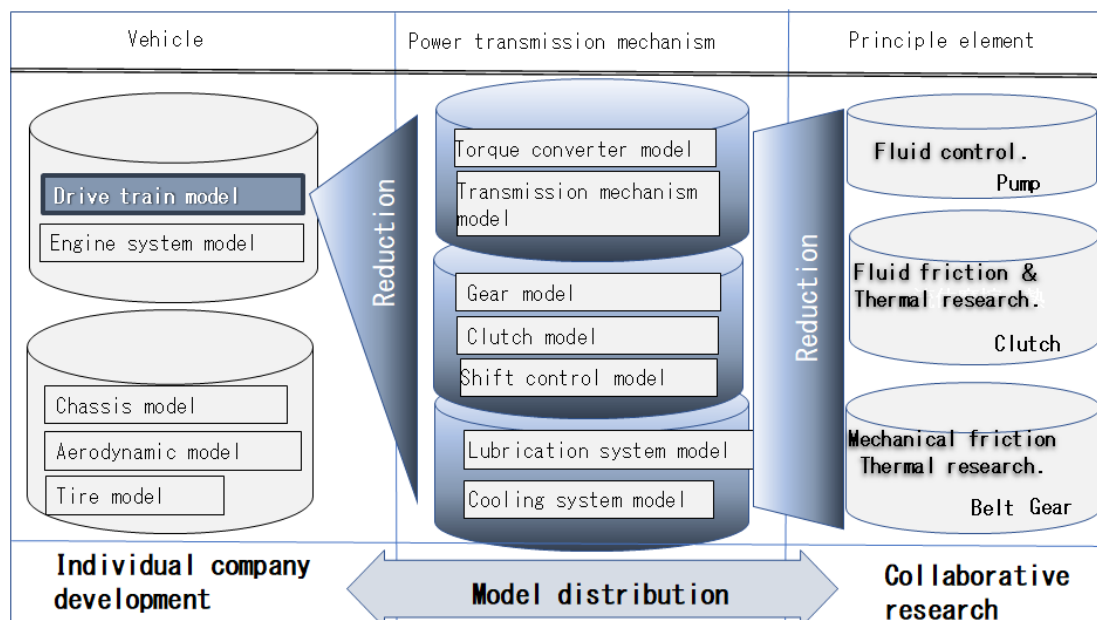


Fig.[6-6]. Drive system architecture model : Unit model to unit model linkage

6.4 まとめ

動力伝達機構への車輛開発と基礎研究をつなぐ MBD の導入には仕組みの提案は多々あるものの実態としては単一階層で完結しているケースが多い． 中間階層にあるサプライヤが揃ってシステムの導入を推進するためにはインフラを整える為の課題は多い． また，我が国の自動車産業の特徴である系列化や開発レベルの差からも導入には障害が大きいと考えられる． 一方，Q C T（品質・コスト・納期）を実現するためにはMBDはその解決の大きなツールと言える． 導入のメリットは図[6-7]に

示すように従来の図面に依る性能の取り合いによる調整のロスやシステムの成立のロスが、MBD 導入による同席で集学的開発が実現することにより開発の質およびスピード向上が計られる。また、多階層の研究開発を連携する推進ツールとしてMBDを活用した産学連携は有効であると考えられる。このシステムは産業界ではQCT（品質・コスト・納期）に影響を与え、また、学においては研究成果の製品性能への繋がりが可視化されることで学研価値の明確化が期待される。

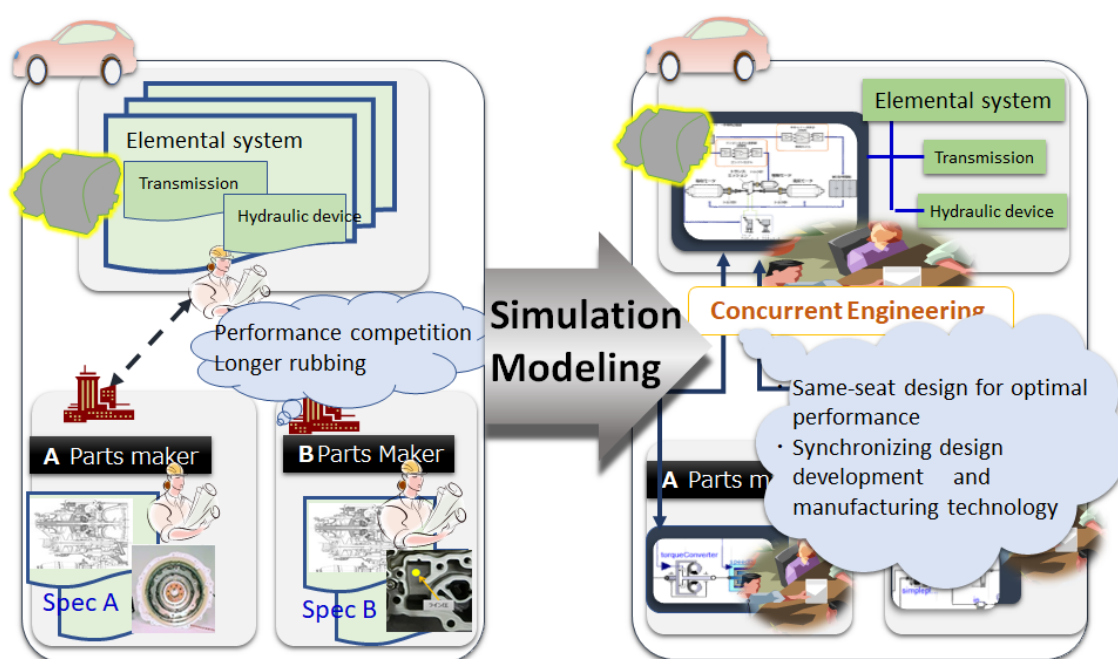


Fig.[6-7]. Advantages of introducing MBD

参考文献

- (6-1) 田中宗介，自動車産業政策の今後 2017 ， 経済産業省，自動車技術会春季大会フォーラム講演集， p. 14-19 (2017)
- (6-2) 山田道夫，産学連携の現状と今後の展望，高分子， p.218-221 (2000)
- (6-3) 筧一彦，産学連携推進におけるコミュニケーションに関する一考察，研究・イ

ノベーション学会 2014 年年次大会講演要旨集, p.947-947 (2014)

(6-4) 公益社団法人自動車技術会協働研究センター, 産学官活動についての年次報告,
(2014)

(1-5) 藤本隆宏, 能力構築競争ー日本の自動車産業はなぜ強いのか, 中公新書,
p.294-307 (2003)

(6-6.8) 松島克守, M O T の経営学, 日経 B P 社, p. 273-279 (2004)

(6-7) 中村弘樹, 塩幡宏規, 川村秀紀, 中堅ものづくり企業における技術マネジメントに関する実証研究, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 833, (DOI: 10.1299/trans jsme17-00371), p.4-7 (2017)

(6-9) 公益社団法人自動車技術会春季大会, 自動車技術会春季大会 G I A フォーラム
講演集, 内燃機関技術協働研究組合講演, 材料技術協働研究組合講演 (2014)

(6-10) 斎藤俊博、公益社団法人自動車技術会駆動シンポジウム講演集：高周波モータ音に対する振動予測技術, p.9-10 (2019)

第 7 章 産学協働研究における活動プロセスと

その実践（協働研究組合の詳細）

7.1 産学官連携活動の概要

本章では、前章まで動力伝達系システムにおける産学協働研究開発について論じてきたメソッドについて、活動の維持継続するために実践を通じて組織化を進めてきた経緯を論じる。実践では経済産業省産業政策局学連携課と産学官連携活動として技術研究組合の組織化に向けた交渉を行い、2018年4月に団体としての認可を受けることが出来た。1章から6章まで自動車用動力伝達システムの産学協働研究については、その黎明期から筆者が進めてきた仕組み、仕掛けについて論じているが、この活動組織化は産学協働研究開発メソッドの実践の位置づけにある。

ここで経済産業省技術研究組合について説明する。我が国では産業活動において利用される技術に関して、組合員が自らのために協働研究を行う相互扶助組織（非営利共益法人）化が政府（経済産業省）主導で進められている。各組合員は、研究者、研究費、設備等の協働出資による研究を行い、その成果を協働で管理し、組合員相互で活用する。また、研究開発終了後に企業化し研究成果の円滑な事業化の可能性を言及している。大企業、中小ベンチャー企業、大学・公的研究機関等により幅広く活用されることが期待される。協働基礎研究を持続可能な活動の推進する組織としては、高い活用価値を有する。また、協働研究開発を実施するための仕組みや仕掛けについては、前章までに述べてきた方法を実践として取り入れることで、自動車用動力伝達システムの活動体⁽⁷⁻¹⁾の持続可能性が期待される。図[7-1]～図[7-4]に組織と事業の概要を示す。

7.2 組織と事業の概要

7.2.1 組織体制

設立は2018年4月。理事長を(株)本田技術研究所 T 執行役員とした。組合員は11企業、1団体として、いすゞ(株)／スズキ(株)／(株)SUBARU／ダイハツ(株)／トヨタ自動車(株)／日産自動車(株)／(株)本田技術研究所／マツダ(株)／

三菱自動車(株)／ アイシン・エイ・ダブリュ(株)／ ジャトコ(株)／ (国法)産業総合技術研究所. 事業規模は2.7億円／年. 事業の概要を, 自動車用動力伝達システムの伝達効率, 音振動, 軽量化技術, 電動化に関する基盤研究⁽⁷⁻²⁾とした.

7.2.2 設立の目的

自動車の動力伝達装置(以下トランスミッション)について, 国内自動車メーカーの共通基盤領域における課題を協同で抽出し, 原理・原則を解明する. データを蓄積し, 知財を共有する. 技術研究組合と大学の協働研究により, トランスミッション研究分野のネットワークを構築し, 人材育成を図る.

7.2.3 実用化の方向 114

トランスミッション部分における機械損失・流体損失などの物理現象を解明し, 物理特性を物理式やモデル等で表現できるようにする.

成果(物理式やモデル)を各組合員企業でシミュレーション開発に活用し, 開発精度及び開発スピードの向上を図り, より低燃費かつ高性能な動力伝達システムを実現する.

7.2.4 事業化の目途の時期

研究成果は随時, 組合員各社の製品開発に反映する. 将来的には, より高い精度を持つトランスミッションモデルを構築する.

7.2.5 研究開発の課題

自動車用トランスミッション内部には, ギア等の摩擦による動力伝達のロスが発生. 自動車用トランスミッションの動力伝達効率は現在では87%程度が限界と言われている. 損失は流体損失機械損失, 変速損失熱損失であり, これら損失を産学の協働研究により損失が起こる物理現象を研究するものである.

7.2.6 研究成果の出口

協働基礎研究は, その協調領域では車輛技術開発における電動化, コネクテッド化, 自動運転等への対応について各社ばらばらでは開発はリソース的に限界とな

る。このような新技術領域のみならず、車輛全体を俯瞰する協調領域では、本論で述べてきた動力伝達システムがある。世界の自動車産業では企業間の合従連携や戦略分野で各社が共通して利用する共有インフラを協調領域と設定し、これを深化・拡充することで、リソース制約を日本の自動車産業全体で解除することが必要となっている。言わば、自動車の複雑化、高度化に伴う開発のみならず研究における工数の増加等を合理的に解決する必要があり、MBD（モデルベースデザイン）を有効活用し、開発企業間のみならず、協働研究の産学間においてMBDを広く流通させることを視野に入れることで広く分野活動の効率化を推進する⁽⁷⁻³⁾。

*Date of establishment:	2018/04
*President :	(HONDA Co., Ltd. Executive Officer, Ikuo Takeishi, Technical Research Institute, Ltd.)
*Union members:	[11 companies, 1 organization] Isuzu Co., Ltd./Suzuki Co., Ltd./ SUBARU Co., Ltd. / Daihatsu Co., Ltd. / Toyota Motor Co., Ltd. / Nissan Motor Co., Ltd. / Honda Technical Research Institute / Mazda Motor Corporation / Mitsubishi Motors Co.,Ltd. / Aisin A.W Co., Ltd. / Jatco Co., Ltd. / Kokusai Industrial Power Co., Ltd. Joint Technical Research Institute
*Project expenses	: 260 million yen in fiscal year 30
*Business Overview:	Fundamental research on transmission efficiency, sound vibration, weight reduction technology, and electrification of automotive power transmission systems.

Fig. [7-1]. Overview of the Automotive Power Transmission Technology Research Association

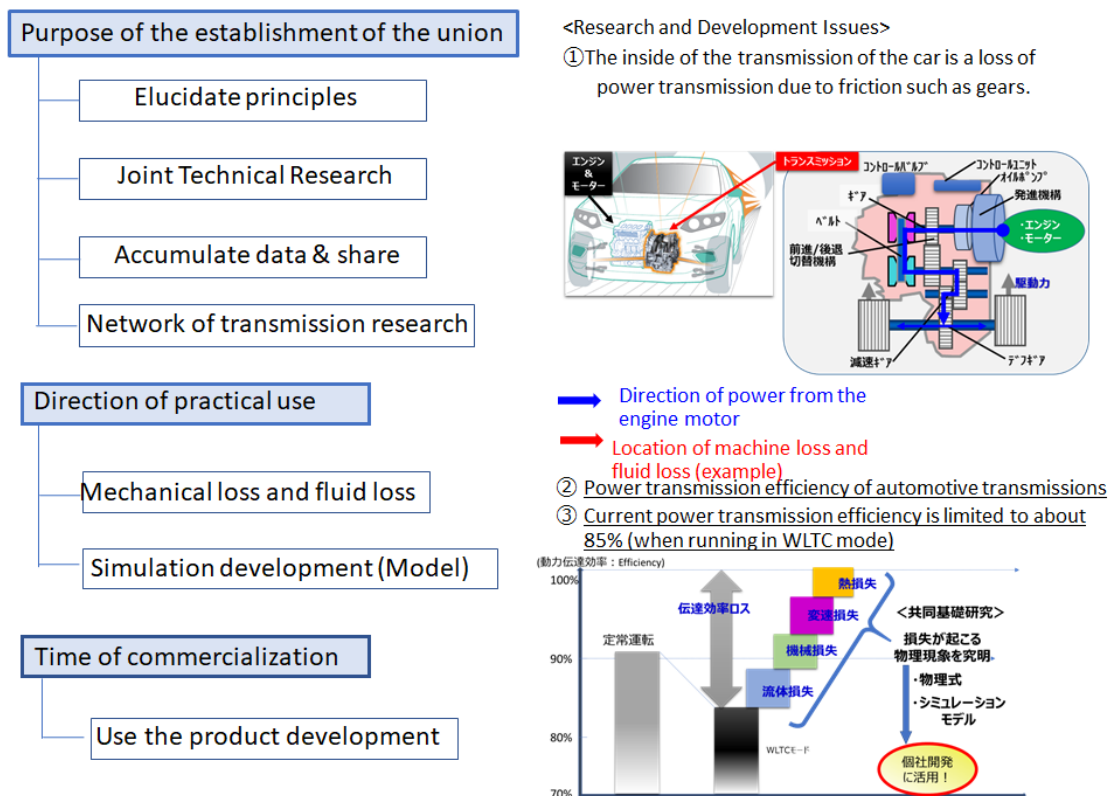


Fig. [7-2]. Purpose of the activity, how to proceed, issues, (example)

7.2.7 研究と開発システム（プロジェクトの概要）

この組織の役割は組合委員各社のニーズから共通基盤となる研究課題を抽出することから始まる。協働研究先に研究を委託，進捗管理を行う。研究成果は，組合員各社の製品開発へ活かせるような形で蓄積・管理をおこなう。動力伝達システム分野においては，研究課題は機械摩擦・熱原理研究，流体制御・流体力原理研究，流体摩擦・熱原理研究，電動化技術・原理研究の4項目を当面は目指すこととする。

活動は当該技術分野の合同調査，モデルシミュレーション戦略であり，モデルシミュレーションとは各研究の成果である物理式やモデルを，トランスミッションモデルへ反映するための共通基盤を整備し，燃費や音振動の性能予測シミュレーションのロードマップを策定することを示している。

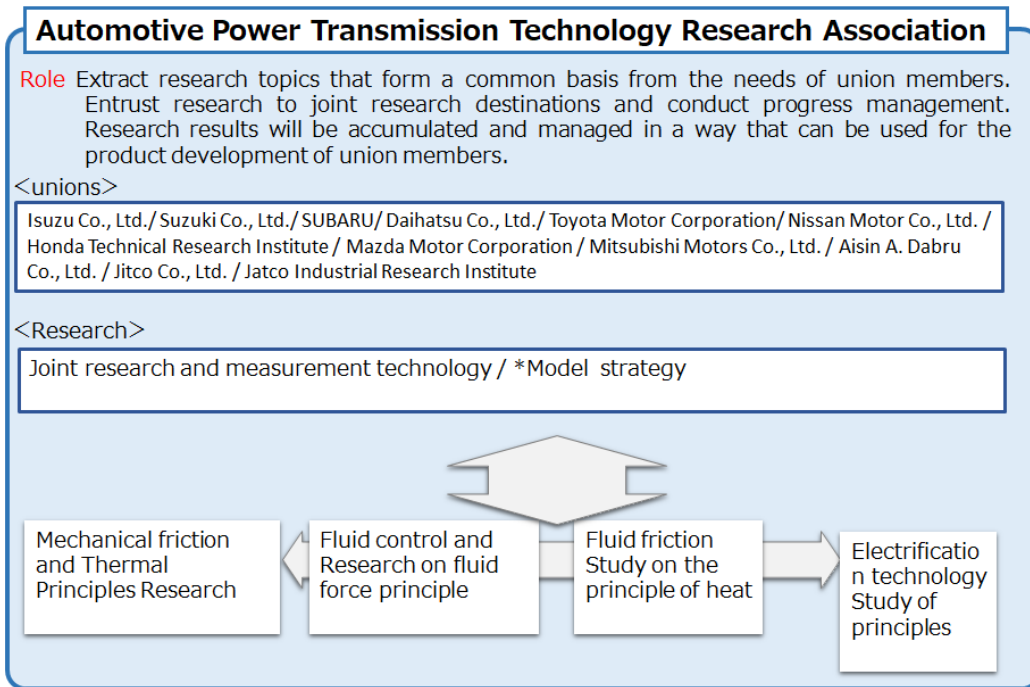


Fig. [7-3]. Research and development system (overall project)

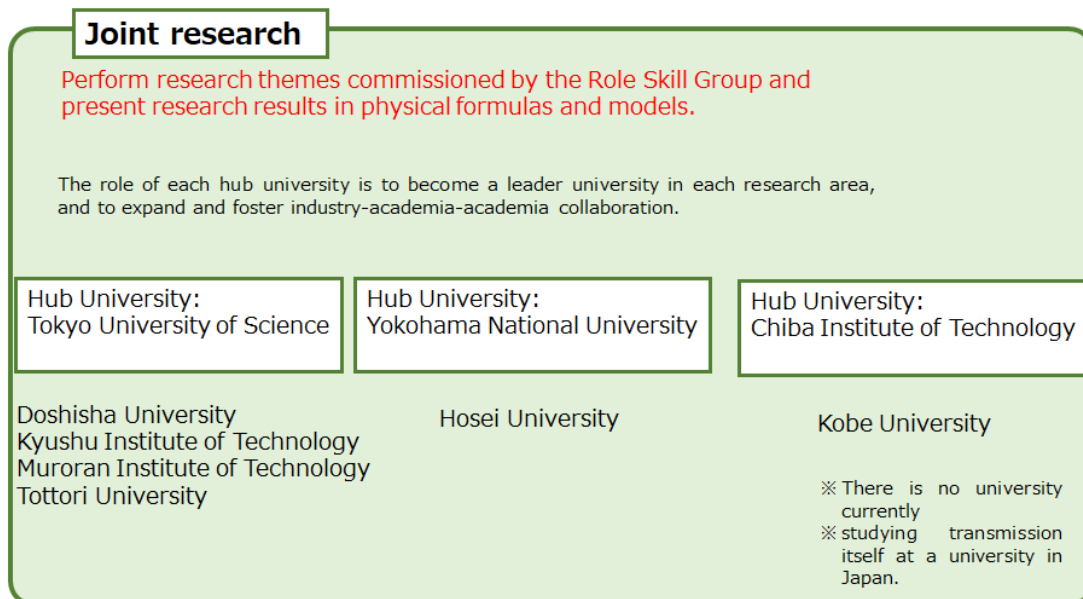


Fig. [7-4]. R&D systems: Trust University and Hub University

7.3 研究開発の目的

これまでの自動車部品の開発手法では経験とコツによる個別最適化をトライ & エラー が主体となっている。この状態は、時間・コスト・労力が掛かるのは自明である。図[7-5]で示すように、シミュレーション技術を投入する現状と改善後の開発の仕組みを示している。活動全体を通じ、開発精度及び、開発スピードの向上へ向かう必要があり、それに適した活動を推進してゆく。言わば、物理現象を解き明かせれば、物理現象に影響を与えるパラメータの寄与度がわかる⁽⁷⁻⁴⁾。物理現象を設計できるようになる。言い換えれば設計段階での性能予測が可能となることで開発が進んだ時に後戻りが少なくできる可能性を示す。開発精度の向上により開発スピード向上へと効果が広がってゆく。すなわち、MBDにより設計段階で節目を超える際に、後戻りしないように物理現象を設計してゆくのである。

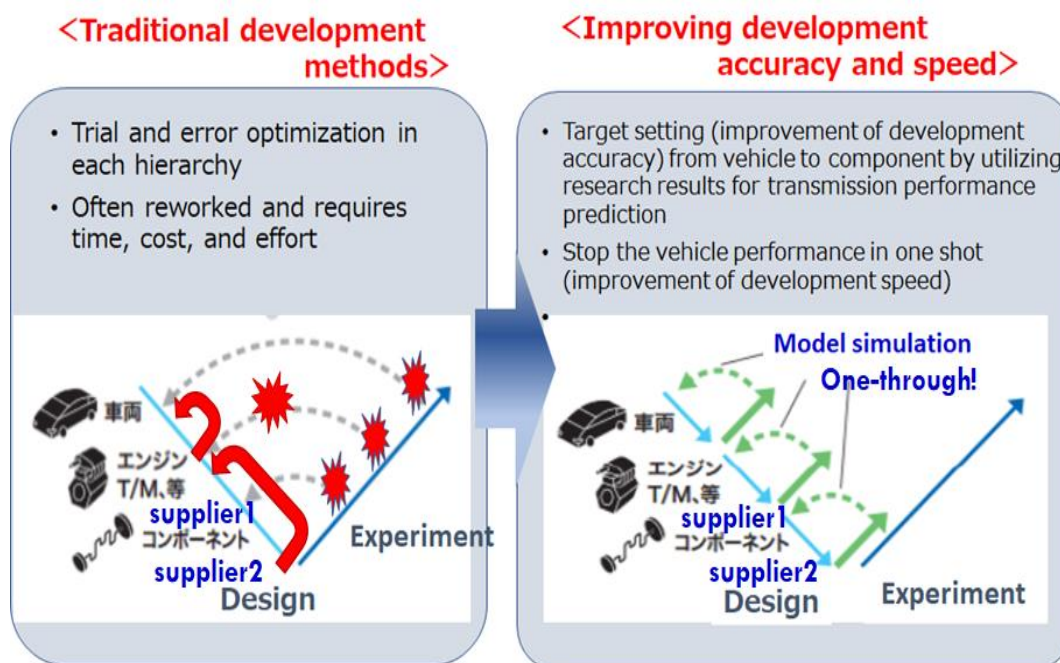


Fig. [7-5]. Purpose of research and development to improve the accuracy and speed of product development

7.4 研究開発内容:研究開発の凡例

研究テーマの例を挙げると，“摺動する各部品との接触部の潤滑油量と摩擦の関係解明”においては，部品摩擦によるエネルギー損失の変化を，物理現象として解明できるようにするための基礎研究の実施を凡例として示している．これを図[7-6]の Stribeck curve で表す．物理現象解明で得られた結果は，大学における研究への深化に供することが可能となり，一方，企業における製品開発では，製品・要素部品の物理現象に影響を与える設計パラメータの寄与度を明らかにすることで，性能への変化や開発設計へのヒントとして利用される．

- (1) For example, in the research theme "Elucidation of the relationship between the amount of lubricating oil and friction of the contact portion of each part to be sliding"
- (2) We will conduct basic research to clarify the change in energy loss due to component friction as a physical phenomenon.
- (3) The resulting results, during product development, to clarify the contribution of design parameters that affect the physical phenomenon of the product.

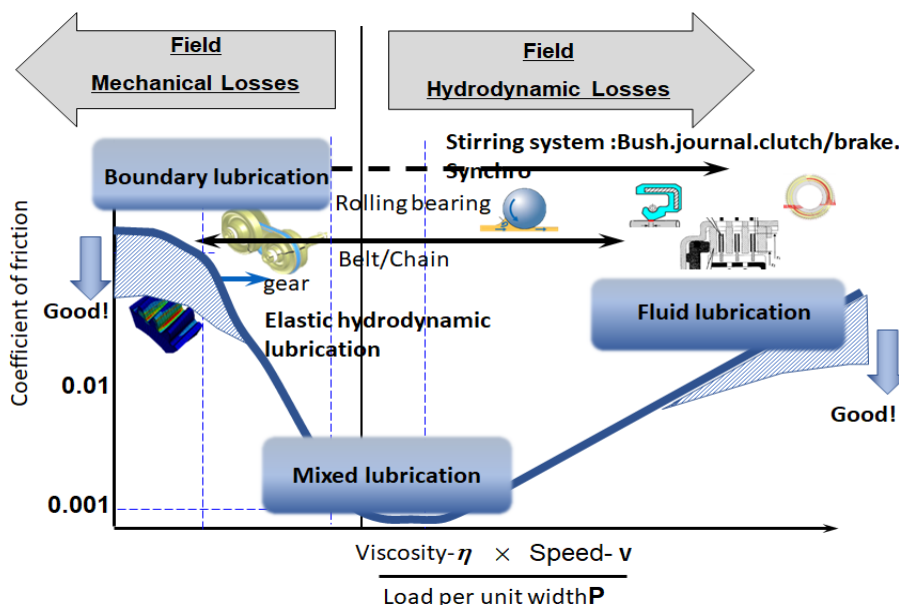


Fig. [7-6]. Research and Development: Elucidation of the relationship between the amount of lubricating oil and friction at the contact part of each sliding part (Stribeck curve for Power Transmission example).

7.5 研究開発内容：動力伝達システムの車輛から要素研究までの階層とモデル構築

本技術領域は、車輛に必ずしも直結した技術領域を担当する企業および大学の集合体ではない。このような階層における属性が異なる団体であっても、法規の範囲であれば協働基礎研究に参画することで自団体での研究に供することが可能となっている。各組合員団体は、技術研究組合における学術研究の成果(物理特性の寄与度)をトランスミッション部品の研究・開発に活用することが可能となる。図[7-7]では本領域の連繋のありたい姿を示す⁽⁷⁻⁵⁾。研究から共通して得られる成果物は図[7-8]で示すV字プロセスにおける物理現象モデルであり、より大きなユニット(車一台分、トランスミッション本体)を対象としたモデルに組み込むことにより、運転性・燃費の性能予測に協働研究成果として取得出来る。原理研究の成果としてのモデル、車輛開発にまで活用できる車輛モデル、そして、図[7-9]では本論文の領域である動力伝達機構における車輛と基礎研究を繋ぐ2つのモデルのモデル流通の考え方により産学で活用できるシミュレーションモデルにより協働研究と製品開発を繋ぐことにより、設計精度とスピードを向上させることが活動の出口と期待される。

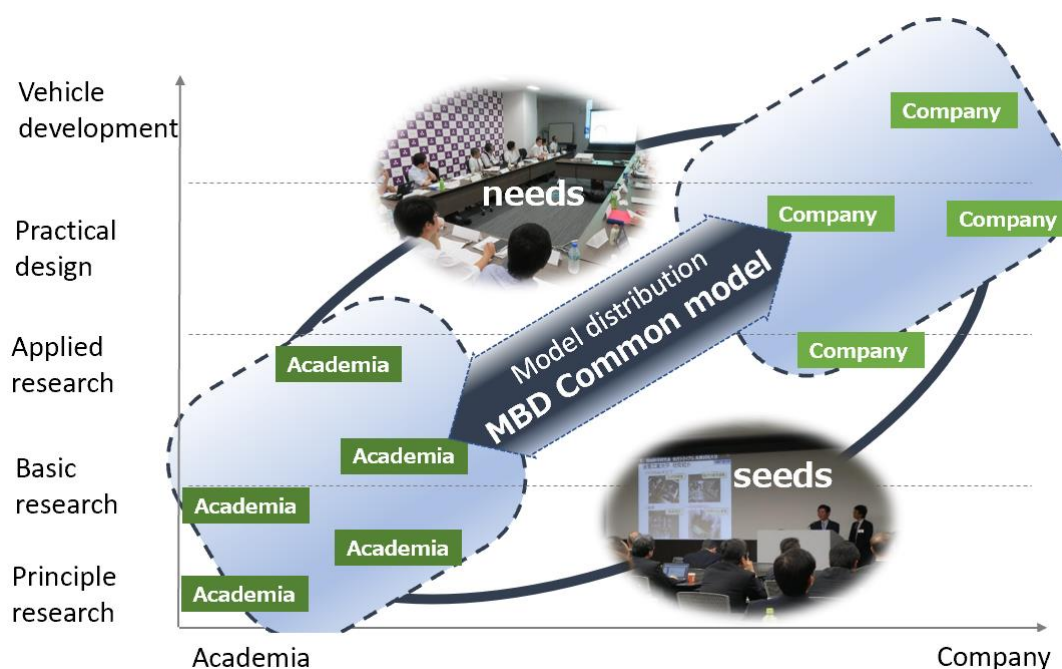


Fig. [7-7]. MBD is a tool that connects industry and academia where needs and seeds are different.

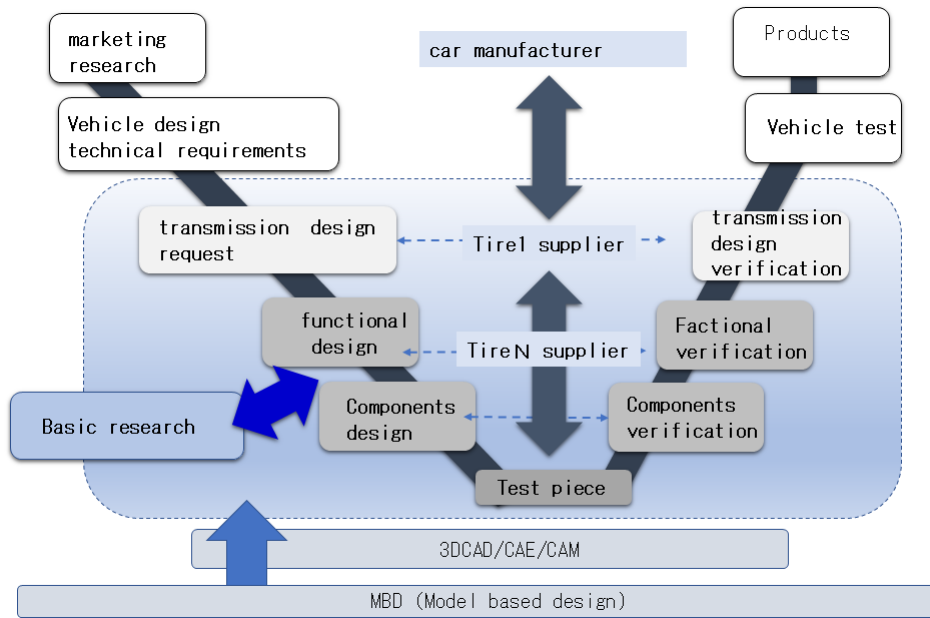


Fig. [7-8]. V-process of transmission and range of MBD in vehicle development

	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6
Layer					
Model resolution.	Elucidation of proportion of D/T in entire vehicle loss.	Comparison & elucidation of T/M with different specifications.	Elucidation of loss for each T/M component.	Elucidation of the mechanism of loss.	Elucidation of characteristics caused by loss.
	Experimental model.			Physical model.	
Research & Engineering				Mechanical friction & Thermal research.	Fluid friction & Thermal research.
					Fluid control. Electrification.
	Individual company development	Model distribution		Collaborative research	

Fig. [7-9]. Research and Development: Utilizing the results of research and development for product development

本論の冒頭に述べるように、車輛用動力伝達機構に関する協働基礎研究のための効果的推進システムの研究においては、従来、本領域における産学協働研究において産学一対一もしくは同業数社が大学と連携する産学連携プロジェクト活動が主体であり、したがって、階層間において必ずしも利害や目的が一致しない複数層の企業が参画する協働基礎研究活動はほとんど行われていなく、経験が少ないという現状を有していた。加えて、車輛ニーズと基礎研究との関係が直接的ではない自動車用動力伝達機構領域では、産学協働研究より得られた基礎技術領域での成果と車輛基本性能との関係は明確に関連付けられていない。これら課題を解くために、かつ、属性の異なる多団体が協働研究を継続的に実施するために、協働基礎研究の目的や成果が車輛と言う最終製品への影響として理解可能できる仕組みや仕掛けによる推進システムを論じてきた。そしてこの推進システムを具体化するツールとしてMBD活用により産学研究と成果の製品への投入までデジタルデータで一気通貫を実現することが出口戦略と考える。経済産業省の次世代国家戦略においても“SURIAWASE2.0”と銘打ち、民間主体の活動を後押し推進する。

参考文献

- (7-1) 経済産業省産業政策局自動車課(2017) 「次世代自動車用動力伝達システム協働研究組合の普及について」『自動車技術会春季大会 GIA フォーラム講演集』.
- (7-2) <https://www.meti.go.jp/policy/tech_promotion/kenkyuu/kenkyuuindex.html
(2019年8月28日アクセス).
- (7-3) 経済産業省, SURIAWASE2.1 - MBD モデル流通戦略について, 自動車技術会春
フォーラム講演集
- (7-4) Shibayama, Takashi (2014) “ Benefit of shifting without clutch engagement and
disengagement” 『 TMC/China-SAE』 ,p.22-27.
- (7-5) Nakatsuka, Terry and Aoyama, Akihiro (2014)“JATCO’s mission towards 2020- The roles
and functional advantages of CVT and characteristics in technological evolution of
transmission in the past and present”『 13th International CTI Symposium Berlin Germany』,
p.9-12.

第 8 章 結 論

車輻開発技術について基盤となる「走る、曲がる、止まる」への大きな影響を持つ動力伝達機構は、開発プロセスの多階層、基盤研究の学術分野、性能構成のシステムの複雑化、事業とする企業群、企業利害、我が国の産業構造の特質（垂直統合）などから、産学連携による研究開発は単一の産学連携に終始していた。本論文では開発の質やスピードの要求から、利害が必ずしも一致しない産学が連携し持続可能な好循環な活動モデル化の提案を試み、実践による施策の有効性を確認してきた。この産学協働基礎研究の推進システム提案が動力伝達システムのみならず、あらゆる産業の技術開発・研究の底上げに寄与するものと考え、今後の展望を考える。

自動車産業の技術領域においては、研究や開発では必ずしも利害が一致せず、また、団体の所属する事業・研究領域において従来は、自領域の上下関係の近視眼的な領域での技術開発や研究に特化して活動が多く見受けられることは、実践における各種聞き取り調査においても論証付けられている。一方、車輻の進展はますます消費者や規制、そして地域の使われ方など多様化への対応が必然となっている。我が国が車輻領域で世界の頂点を維持してゆくには世界のイノベーションをリードし続ける必要があり、事業構造の変化を先取りする戦略を産学官で共有し、競争力を高めて行く必要がある。本論文で主張する開発プロセスにおいては開発プロセスが多階層で構成される技術分野においては製品開発から原理研究にいたる階層を技術データで連携するべくMBDツールによる階層連携が有効であると考えられる。産業構造の変革は自動車産業に限らないと考えられる。すなわち、産業で共通して言えることは、第7章で論じたように、新たなプレイヤーとのイノベーション競争、ハードからソフトへの付加価値シフト、利活用ビジネスの世界的な拡大、必要となる開発投資の規模拡大、新たな人材確保・育成強化の必要性、要素部品サプライヤに至る経営革新の必要性である。車輻領域でいえば、C (Connectivity) 車輻のツナガル化：IoT 社会との連携深化、A(Autonomous)自動運転社会の到来、S(Shared & Service)車の利用形態やサービスとしての機能、E(Electric)車の動力源の電動化。と言われ、CASEと呼ばれている潮流である。この潮流に先回りし技術革新を持続するためには、研究資源の多くを保持する大学・公共研究機関の活用を如何に合理的に効率的に実施し、成果の品質や活動のスピードアップにつながるという視点を産

業の底上げとしての協働基礎研究に活用できるかが産業構造の変革をリードする源泉と言える。具体的にはシミュレーションモデルの産学共有構築と活用である。言わば、デジタル大部屋方式と言える。この意味において、本論文で論じてきた協働基礎研究の実践を通じた各種システムの提案を広く開発研究活動に取り入れることが有効であると言える。甚だ厚顔無恥ではあるが、該当分野の産学連携により、一企業のみならず産業の底上げの進展の一助となるべく、提案の適応分野拡大、さらなる昇華のため研究を続ける所存である。

謝 辞

本論文の執筆に際して、同志社大学 理工学部 大窪和也 教授、小武内清貴 准教授、藤井透 名誉教授には懇切多大なご指導とご鞭撻を賜りました。ここに深く感謝し、御礼申し上げます。

本論文の審査にあたり、懇切かつ適切にご指導をいただき、また、本研究の機会を与えてくださった、横浜国立大学大学院 佐藤恭一 教授、東京工業大学 工学部 北條春夫 名誉教授、公益社団法人自動車技術会 窪塚孝夫前理事長、協働研究センター動力伝達システム協働研究委員会 櫻井久隆氏はじめ産学研究員の皆様、ジャトコ株式会社 柴山尚士 フェロー、トヨタ自動車株式会社 荒川一哉氏、日産自動車株式会社 後藤敦彦氏、株式会社 本田技術研究所 白井智成氏、株式会社 SUBARU 小栗昌己氏をはじめ、快く研究の推進を認めてくださった皆様に深く感謝申し上げます。

最後に、今回の研究による知見を自動車産業における動力伝達システム分野の技術の底上げに還元し、微力ながら社会の役に立つことが出来ればこれ以上の喜びはないと思います。

そして、家族には心から感謝致します。

2019 年 12 月

青山 明宏