

提 言

我が国が重視すべき科学技術のあり方に関する提言

～ 根本的エンジニアリングの提唱 ～

2009年11月26日

社団法人日本工学アカデミー
政策委員会

目 次

Executive summary

第一章. 本提言の背景

1. 1 「今後の科学技術分野」としての CT の理解と限界
1. 2 既存の科学技術基本計画との関係

第二章 本提言の目的

第三章 根本的エンジニアリングの定義

3. 1 根本的エンジニアリングの現状
3. 2 根本的エンジニアリングの関係主体

第四章 根本的エンジニアリングの確立に向けた提言

4. 1 アクションプランの考慮点
4. 2 必要なアクションプラン

添付資料 根本的エンジニアリングの必要性を示す事例

タスクフォースメンバー

我が国が重視すべき科学技術のあり方に関する提言
～ 根本的エンジニアリングの提唱～

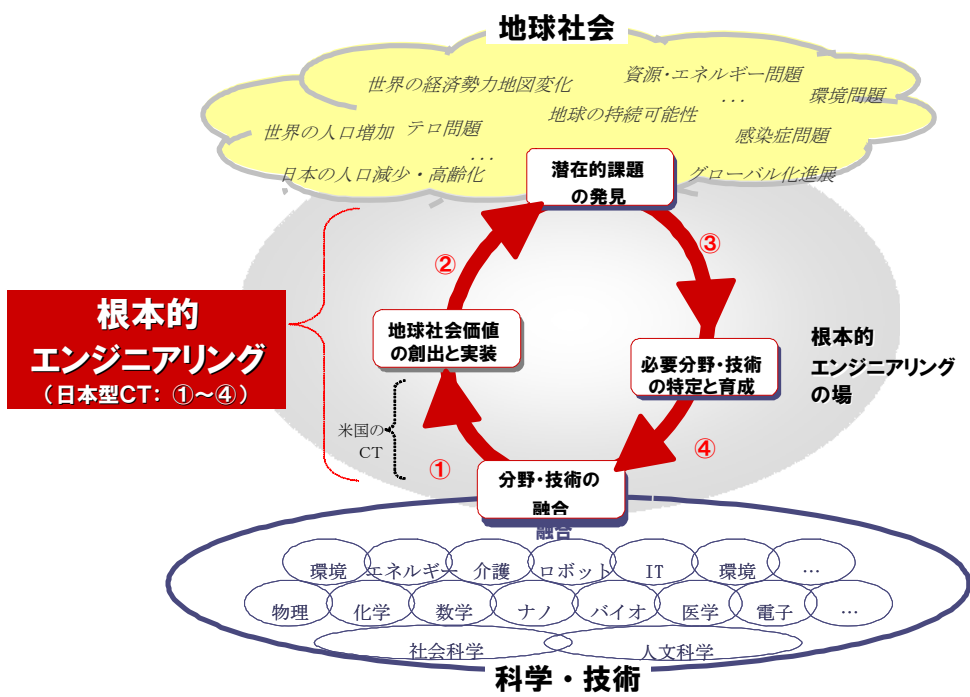
Executive Summary

日本社会にとって重視すべき科学技術分野を検討するという事は、科学技術創造立国の視点から日本社会が現在抱えており、また将来抱えるであろう多様な課題にいかにか科学技術で立ち向かうか、の戦略を再考する事に他ならない。

日本社会にとって人類の生存と地球環境の維持のために科学技術を用いたイノベーションこそが必要であり、日本が世界の先頭に立ってそれを実現するための提言を行う。

本提言は、今後重視すべき科学技術のあり方においては「俯瞰的視点からの潜在的課題の発掘と科学技術の結合あるいは収束」との命題に答える広義のエンジニアリングこそが重視されるべきである、との考えに基づくものである。この「社会課題と科学技術の上位概念から社会と技術の根本的な関係を根源的に捉え直す広義のエンジニアリング」を『根本的エンジニアリング（英語では、上位概念であることを強調して Meta Engineering と表現）』と名付ける（下図）。顕在化した課題に対する科学技術の適応にとどまらない、根源的なイノベーションを推し進めたい。また、顕在化された課題に対して科学技術を融合する点にのみ焦点を当てたアプローチとは広がりを変える。この根本的エンジニアリングの技術概念を深化させ体系化する研究を強力に推進し、かつ根本的エンジニアリングを具体的に実践する場の設定が必要であり、そのためには活動主体として公（国および地方）と民、産官学を包含する国レベルの政策としての展開が必要である。

第四期科学技術基本計画等において根本的エンジニアリングを強力に推進することを提唱する。



第一章. 本提言の背景

今後の科学技術分野の捉え方として、“Converging Technology (以下 CT)”が注目されているが、この定義は、米国やEU、その他の国々により様々になされている。

米国では、バイオ、ナノ、情報通信、認知科学の4つの分野(NBIC)を取り上げ、知の融合を促進する技術としての研究開発戦略を推進している。一方、欧州連合においては「今後の欧州連合に於ける社会課題を技術や知識によって解決する可能性を提示する、技術または知識の体系」との幅広い定義を行ない、CTの重要性を科学技術政策において明確に打ち出し、具体的な重点投資を開始している。また韓国では「将来の経済・社会課題を解決することを目的とした、分野や技術を融合した革新的新技術」としている。

一方わが国では、第三期科学技術基本計画において、イノベーションの源泉となる知識創出のための基礎研究推進などによる「科学技術の戦略的重点化」と同時に、人材育成やつなぐ仕組みによるイノベーション創出システムの強化、地域イノベーション・システム構築などの「科学技術システム改革」が謳われ、ここ数年、知を俯瞰的に捉える方向性が見られている。「知の統合」や「社会技術」を重視している点で、上記各国が言うところのCTと類似した視点からの分析や検討がなされてきていると言える。

しかるに、近年わが国において、社会課題の解決につながる根源的なイノベーションが生じていたかの疑問がある。米国においては、情報通信分野においては、クラウド・コンピューティング、エネルギー分野においてはスマートグリッド、情報家電における iPod などがイノベーションとして登場してきている。わが国からの大きな発信が生まれたいのはなぜであろうか。

このような状況を背景として、日本工学アカデミー政策委員会 CT 部会では、我が国が今後に向けて重視すべき具体的な科学技術のあり方を検討し、本提言をまとめた。

下記1. 1及び1. 2では、本提言作成の詳細な背景として、CTの理解と、それをきっかけとし既存の科学技術基本計画との関係とを示す。

1. 1 「今後の科学技術分野」としてのCTの理解と限界

日本社会にとって重視すべき科学技術分野を、あるいはCTを検討するということは、科学技術創造立国の視点から日本社会が将来抱えるであろう多様な課題にいかんにか科学技術で立ち向かうかの戦略を再考する事に他ならない。そしてこの戦略検討においては、どのように科学技術を用いるか(=How)以前の問題として、なぜその戦略を考えるのか(Why)、及び、多様な課題の上位概念としての共通的な且つ抽象化された技術課題は何なのか(What)を明確にすることが重要であるのは言うをまたないであろう。そこで、CTを検討する基盤としてこのWhyとWhatをまず確認してみる。

ここで言うWhy、すなわち日本社会にとっての科学技術戦略の必要性としては、従来からも我が国の国際競争力強化や雇用確保、生活の安心などが認識されてきている。そして今、社会、経済全ての面においてグローバル化が進んできている中では、その上位概念としての「人類の生存と地球環境の維持」をも明らかに包含して、Whyを同定する重要性が高まっている。

What、すなわち様々な課題を貫く共通技術課題を発想する原点はこのWhyにある。従って、現在の日本社会にとっての共通技術課題は、「人類の生存と地球環境の維持のため

に科学技術が活用されるべきである」との共通的価値観に基づいて明確化される事が重要である。

では、今後の科学技術分野の一つの捉え方としての CT はどのようなものであるべきであろうか。従来から研究開発のテーマ理解に用いられている、物理、ナノ、情報処理、バイオ、医学、といった研究の基盤分野からの捉え方、あるいは環境、エネルギー、介護、といった研究が解決すべき課題による捉え方は、基盤分野を深耕しあるいは基盤分野を超えた研究間の関係性を理解する上では不可欠である。そして、この理解が「研究分野融合・技術融合」や「社会課題の解決」を重視した各国の CT の定義へとつながってきていると言えよう。

しかし、科学分野における研究テーマは多様化・細分化している。一方で、経済のグローバル化や地球温暖化など、社会環境も複合化している。そして、これら研究や環境の進展・変化は目まぐるしく、一つの技術だけで社会課題を解決しえる、といったような単純な判断で技術の有用性や可能性を語ることは危険ですらある。また、研究開発成果を社会課題解決の形で社会還元する事は必須ではあるものの、顕在化している社会課題の解決だけの成果追求を他の社会課題との関係性、特にマイナスの相乗効果を検討せずに行なうことは、社会への大きなリスクとも成り得よう。

すなわち、研究分野や方向性を強化するだけでは不十分なのであり、「人類の生存と地球環境の維持」との共通価値のもとでの課題認識を強化し、その上で必要な技術融合などを図っていく事が求められる。言い換えてみると、研究開発と解決する社会課題の関係を「一対多（＝科学技術の深耕で多くの社会課題解決の基盤をつくる）」あるいは「多対一（＝科学技術の融合である社会課題を解決する）」の理解ではなく、人類の生存と地球環境維持、という共通価値の中での「多対多」の関係の中で連続的且つ俯瞰的に捉えることがまず必要となっているのである。

上記の理解を踏まえると、日本社会が目指すべき方向性として「研究分野融合・技術融合」が重要なのは確かである。しかし、この融合技術が社会に還元され、真に人類や地球環境にとって価値のあるものとして活用されるためには、社会全体を俯瞰して科学技術を課題解決へと結びつける行動もまた必要となる。そして、この「研究分野融合・技術融合」と「社会課題と研究開発を結びつける」との二つの方向性が総合的視野の中で連続的あるいは並行的に推進されることで、真の意味での個々の基礎研究分野の深化や新融合研究領域の創出が行われるのではないだろうか。敢えて言えば、融合研究のみの追求や特定社会課題の解決だけへの邁進は、本来回避可能な技術リスクに人類や地球を不用意にさらしてしまうことになるだろう。

技術を理解し、関連技術や社会の状況を判断しつつ、他技術との融合も含めて社会への実装の可能性を検討し、そしてそれを実装する。また、その活動を通じて社会環境の中から必要とされる次の技術課題を見出し、それを新技術の研究開発に反映させる。このような科学技術と社会課題を結びつけるプロセスを、適切に駆動し、支援していく活動は、広義で見たエンジニアリング的なアプローチと言えるものである。そして、今の日本が必要としている CT は、この広義のエンジニアリング技術を、共通の社会課題（What）とその背景としての共通課題認識（Why）、そして科学技術と課題を結びつけるプロセスの活動（How）で成り立つ体系として確立し、日本の科学技術力として広く活用を進めることであり、我々は考える。言い換えてみると、日本が目指すべき科学技術の方向は、米国における NBIC のように科学技術の個別特定分野を重視するものではなく、全体体系を捉える必要性を重視する概念だと認識するのである。

1. 2 既存の科学技術基本計画との関係

日本の科学技術基本計画では、ここまで述べてきた「研究分野融合・技術融合」、「社会課題解決に科学技術を結びつけるエンジニアリング」といった CT の方向性を明示してはいないものの、これらの方向性と合致する活動を既に取ってきている。特に研究分野融合・技術融合については、重点推進 4 分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料)及び推進 4 分野(エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア)のいずれもが既に融合領域と言える設定である上に、さらなる新興領域・融合領域への対応も行なっており、かなり明確な動きを取ってきていると言える。

一方、科学技術－社会課題プロセスのエンジニアリング技術に関しては、科学技術－社会課題プロセス全体としての捉え方は、まだ十分なされていない。イノベーション創出システム強化などを対象とした科学技術システム改革の中の人材育成や地域イノベーション・システム構築といったテーマの下で行なわれている、社会課題に応える技術開発の推進やその他人材などの資源活用も含めた仕組み作り、といった実際の活動創出はそれなりの蓄積が進められてきている。しかし、社会にとっての全体最適評価やそれに基づいた研究開発テーマ設定などの活動は未だ十分とはいえない。

すなわち、科学技術の基盤要素としての基礎科学技術分野及びその融合分野の展開は着実に進んでおり、また、科学技術を具体的な社会課題に結びつけていくプロセスのエンジニアリングについても、部分的ではあるものの事例蓄積などは着々と進み始めているのが、我が国の現状と言えよう。従って、社会環境を俯瞰的に把握しながら潜在的な社会課題を見出し、それを科学技術と結びつけていく総合的・連続的プロセスのエンジニアリングを確立し、これを上述のように既に実現が進む科学技術研究や蓄積事例を活用する基本的な科学技術のあり方についての概念とすることは、第三期までの科学技術基本計画との整合性ある次の方向性と成りえると考えている。

また、このような総合的・連続的概念に立脚した科学技術の方向性の確立により、国の各省庁や企業、国の研究機関、大学、或いは地方自治体など、科学技術の研究開発からその社会価値創成、社会課題の解決に関与する多種多様な主体間において、相互の役割と責任をより明確に共有することが可能となる。今後の日本のそして地球社会の持続と発展に向けた、適切な資源の投下・配分を考える上でも、必須の概念なのである。

第二章 本提言の目的

このような理解に基づき、「俯瞰的視点からの社会課題と科学技術の結合」との命題に答える広義のエンジニアリングこそが、今後の日本が重視すべき日本型 CT であると考えられる。ここではこのエンジニアリングが、「社会課題と科学技術」の上位概念から社会と技術の根本的な関係を捉え直したものであることから、『根本的エンジニアリング(英語では、上位概念であることを強調して Meta Engineering と表現)』を定義する。

そして、この根本的エンジニアリングの技術概念の研究・整備を進めると同時に、この根本的エンジニアリング推進に資する明確な政策の策定及びその場の設定をより具体的に推進し、さらには第四期科学技術基本計画等へと反映させることを、本提言の目的とする。

エンジニアリングには「与えられた不確実の存在を前提とする環境の中で自らの持つ資源を最大限に活用しながら経験則に基づいて行動し、その状況からまた経験則を見出していく思考と行動のアプローチ」との定義があるが(Billy V. Koen, 2003)、その意味からも、根本的エンジニアリングはものづくり大国として日本が蓄積してきた経験を最大限に活用しつつ、我が国を「全体最適を具現化できる」新たな次元へと移行させる技術、とも言えるものである。本来エンジニアリングのあるべき姿を現在実現させることを提言した

い。この根本的エンジニアリングを包括的に把握・整理し強化する事は我が国の国際競争力強化につながる。

このように定義する根本的エンジニアリングの現在の日本における必要性を示す事例を、添付資料にあげる。

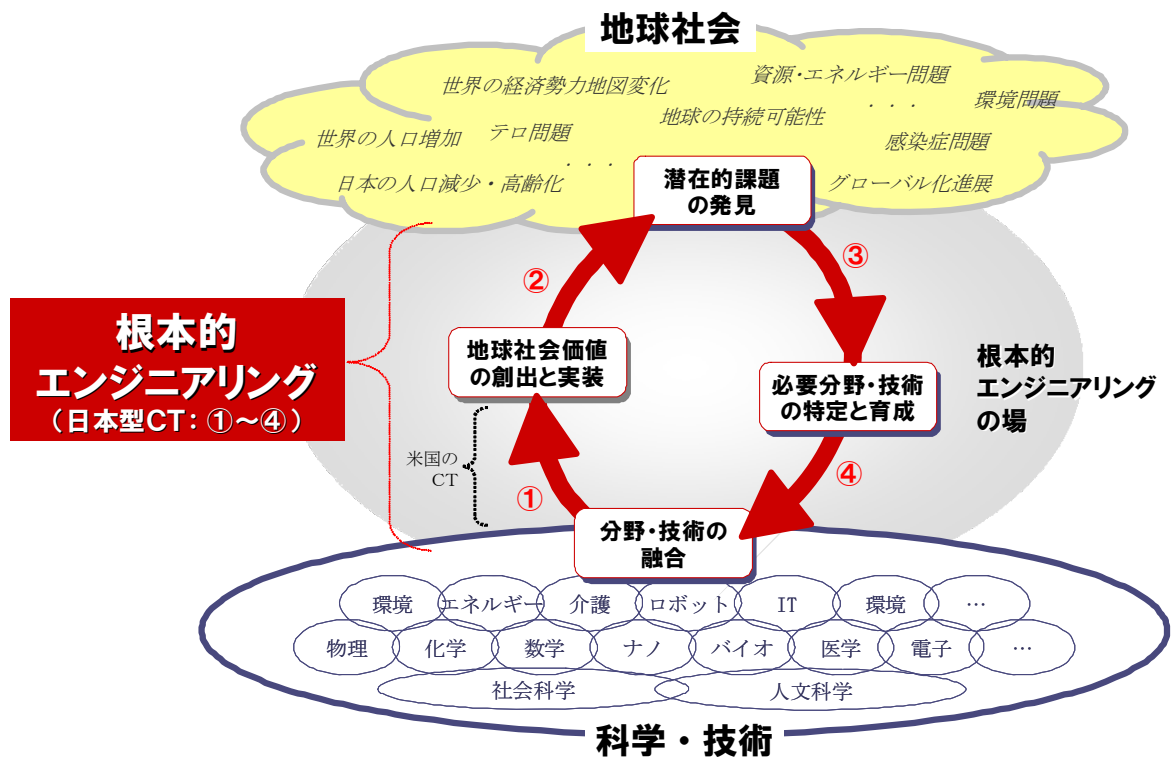
第三章 根本的エンジニアリングの定義

ここでは、根本的エンジニアリングを、

「様々な顕在化した或いは潜在的な課題を抱える地球社会、及び各分野が個々にあるいは複合的に活動する科学・技術分野とを俯瞰的にとらえ、個々の科学技術分野の追究・融合、あるいは社会価値の創出ばかりでなく、地球社会において解決すべき課題の発見、そしてよりの確な次の社会価値創出へとつながるプロセスを、動的且つスパイラルに推進していくエンジニアリングの概念」

として定義する。すなわち、21世紀の地球社会の課題を解決し、且つ持続性ある地球社会のための社会価値創出（イノベーション）の実現を目指すための、従来の工学を超えたエンジニアリング概念が、「根本的エンジニアリング」である。

この概念を図-1に示す。すなわちこの根本的エンジニアリングという技術概念は、米国のCTが示唆するような「研究分野や技術の融合によって新規に創出する社会価値の実装」（図-1の①の部分）だけでなく、地球社会において解決すべき潜在課題の発見、そこで必要となる技術の特定や育成、そして、さらにその技術や分野の新たな融合とよりの確な社会価値創出へとつなげていくプロセスの全体、すなわち図-1の①～④のサイクル全ての活動を主体とするものである。



図－1 根本的エンジニアリングの概念

これを、1.1節に述べた日本社会の科学技術への取り組みにおける How、Why 及び What との関係で見ると、下記のように示すことができる。

How (如何に科学技術を用いて価値を創出するか) … 図－1 の①及び②の活動が相当

Why (何を技術で解決すべきか) … 図－1 の③の活動が相当

What (そのためにどのような技術が必要なの) … 図－1 の④の活動が相当

そして今必要なのは、1.1節に述べたように、潜在的な地球社会の課題と多様化・細分化する科学技術との多対多の関係を、人類の生存や地球環境維持などの共通価値の中でとらえ直していくことなのである。

このように新たに定義する根本的エンジニアリングであるが、図－1に「根本的エンジニアリングの場（英語表現としては、Meta Engineering Sphere）」として示した領域内での活動は、個々の要素としては、既存の科学技術推進施策や大学などにおける研究テーマなどにおいて既に行なわれてきている。特にサイクルの下半分における特定技術の育成や技術の融合を推進する個別事例には事欠かないとも言える。

しかし、ここで定義する根本的エンジニアリングは、これらの既存要素を基盤としつつ、この「根本的エンジニアリングの場」における活動のダイナミクスを図－1のような形で俯瞰的・包括的に捉え直し、これを一つの統合的な科学技術分野として重視する、すなわちサイクルの下半分と上半分を総合的に捉え、これを動かしていくための場を重視するものなのである。サイクルの下半分が既に特定されている技術の育成であり特定されている課題の解決であるとする、根本的エンジニアリングでは「見えない課題を見だしそれに必要な技術を特定する」というサイクルの上半分の活動をも同時に対象とし、これらの活動が社会と科学技術の現状の中で推進されていくための場を創っていく。この意味で、今までにはない社会と科学技術へのアプローチなのである。

下記に、現状と根本的エンジニアリングの関係を具体的に理解するために、図－1に示した根本的エンジニアリングの定義から見た現状の活動事例と、関係主体毎の活動状況とを整理する。

3. 1 根本的エンジニアリングの現状

図－1に示す根本的エンジニアリングには、「分野・技術の融合」「課題解決に向けた実装」「潜在課題の発見」及び「必要な分野・技術の特定」の4つのフェイズが含まれる。そして前節に述べたように、最初の2つのフェイズについてはこれらを単独で、あるいは2つの連続的フェイズとして明示的に対象とした活動が既に見られる。しかし、後半2つのフェイズに焦点を当てた研究や活動は見当たらない。

たとえば、「分野・技術の融合」については企業や大学、あるいは両者の産学連携活動などを通じて、個別テーマ毎に行なわれている（表－1の事例1，2も含む）。また、その融合した技術を「課題解決に向けた実装」に展開する部分も、当然ながら行われてきている。企業活動はこのプロセスを最も具体的に行っているものである。しかし、これら活動のほとんどは企業だけの個別案件に対する判断によるものである。社会の共通課題解決に向けた技術活用やその為の支援活動を社会として推進する活動は、今のところかなり対象を限定したもの（表－1の事例3，4，5等）しか見受けられないのが現状である。

また、根本的エンジニアリングのサイクル全体を対象としていると思われる活動も存在はしている。しかし、いずれも、社会全体からの俯瞰的視野による概念整備にまでは至っていない。

この例の一つは、技術経営（Management of Technology）である。図－1には「経営課題と研究開発・技術開発とつなぐ双方向のプロセス」も含まれていると考えることができるが、これは企業がそれぞれの事業目的の中で行なってきた経営行為の一部であり、近年技術経営分野として取り上げられている活動とも重なるものである。技術経営分野に関しては、この10年程は様々な施策による推進がなされており、大学などの教育体制もかなり整ってきている。

根本的エンジニアリングと技術経営とでは、ステイクホルダーに重なりはある。しかし、技術経営分野としての把握は企業経営の一側面としての位置づけが主となるものであり、「人類の生存と地球環境の維持」といった共通の社会課題認識に基づく根本的エンジニアリングとは、重複はあるものの、明らかに立ち位置を別にする。企業においてもCSRや環境経営といった概念が既に普及してきている中、社会全体からの俯瞰的視野に基づく「科学技術の実装」や「潜在課題の発見」などの必要性は認識されてきてはいる。しかし、未だ技術経営の理解やそれに基づく教育現場では企業経営ノウハウに焦点が置かれがちであり、社会全体からの俯瞰的把握やその教育は重視されにくい。言い換えれば、技術経営分野をも内包する上位概念として、根本的エンジニアリングを体系化することが必要なのではないだろうか。

もう一つの例は、RISTEX 研究開発プログラム「科学技術と社会の相互作用」（表－1 事例6）である。このプログラムの対象は根本的エンジニアリングサイクル全体と同じ「地球社会と科学技術を結ぶサイクル」にあると見られ、その意味では先行根本的エンジニアリング研究の一つ、とも言えよう。しかし、まだ様々な事例蓄積や個別事例に於ける手法の試行をしている段階にあり、科学技術と社会（課題）とのあいだを結ぶプロセス、あるいはそこでの活動主体のあり方などの概念整備に至るための活動蓄積を始めたばかりの段階にあると言える。

根本的エンジニアリングのように科学技術と社会のシステム全体を対象とする教育と

研究は、東北大学など一部で既に着手されている（表－1 事例7）。今後、これらの動きから得られる知を蓄積し、「社会への実装」や「課題の発見」といった具体的活動に結びつける仕組みとして展開させるためにも、これらの活動を包含する場のあり方の検討と場の確立が必要なのである。

表－1 根本的エンジニアリングと関連した現在の活動事例

事例		その現状概要
1	内閣府 「イノベーション戦略に係る 知の融合調査」(H18年度)	<ul style="list-style-type: none"> ・「分野・技術の融合」に重心を置きつつ、それによる社会課題解決を促す環境までを視野にいたした調査を行う。 ・根本的エンジニアリングサイクルの最下部に重心を置いて、同サイクルの左半分を俯瞰していると思われる。
2	東京大学工学系研究科 先端学際工学専攻	<ul style="list-style-type: none"> ・科学技術の先端化と融合化（サイクル最下部）の研究（Research on research）を対象としている。
3	科学技術振興機構（JST） 社会技術研究開発事業「研究 開発成果実装支援プログラ ム」	<ul style="list-style-type: none"> ・「課題解決に向けた実装」を真正面から捉えている活動である。 ・現在は実際の実装事例を蓄積している段階にある。
4	東京大学工学系研究科／システ ム創成学専攻、 慶應義塾大学／システムデザ イン・マネジメント研究科、など	<ul style="list-style-type: none"> ・「分野・技術の融合～課題解決に向けた実装」の環境理解とその推進を対象にした教育と研究を実施していると言える。 ・あくまでも大学であり、実装そのものは、ほとんどが（就職先、あるいは共同研究先の）企業が独自で行なっていると見られる。
5	横浜市 「横浜版 SBIR」	<ul style="list-style-type: none"> ・行政課題提示による中小企業の新技術・新製品開発支援策である。 ・「課題の発見」と「技術の特定」（図－1のサイクル右側）を市が行ない、これに基づいて企業が「分野・技術の融合」～「実装」（サイクル左下）を繋ぐ活動を実行するが、最終的な「実装」は市が実施する。 ・行政課題の発見やその優先順位付けなどは、まだ体系化されてなく、試行を続けていると見られる。
6	社会技術研究開発センター(RISTEX) 研究開発プログラム 「科学技術と社会の相互作用」	<ul style="list-style-type: none"> ・根本的エンジニアリングサイクル全体が一応の対象と見られる。 ・まだ様々な事例蓄積や個別事例に於ける手法の試行をしている段階にあり、科学技術と社会（課題）との関係の体系的な概念整備にまでは至っていない。
7	東北大学工学研究科／技術社会 システム専攻	<ul style="list-style-type: none"> ・科学技術と社会課題のシステム全体、すなわち根本的エンジニアリングサイクル全体を一応の対象とした研究と教育を実施する。 ・今後は実装主体（企業、自治体等）との更なる連携展開が必要である。

既に述べてきているように、第三期科学技術基本計画においても「異分野間の知的な触発や融合を促す環境を整える必要がある」、「イノベーション促進に必要な人文・社会科学の振興と自然科学との知の統合に配慮する」、「産学官が一体となって、我が国の潜在力を最大限発揮させるべく、イノベーションを生み出すシステムを強化する」、といった点の記述がなされており、根本的エンジニアリングはこれらの点を明示的に取り上げた概念、ということもできる。表－1 1に挙げた「イノベーション戦略に係る知の融合調査」における「異分野融合の重要性は日本の方が声高に唱えられていた感があるが、実際にその動きを起こすマネジメント法がうまく展開されていない」との指摘も、根本的エンジニ

アリングの必要性を示唆するものと言えるであろう。

このように根本的エンジニアリングの活動は社会の中での位置づけが重要であり、研究者一人の研究活動で完結するものではなく、多様な主体の関与が必要となる。すなわち、図-1の「根本的エンジニアリングの場」においては、多様な主体がテーマに応じてその時々の連携体を構成し、それぞれの役割に応じた活動をしていくこととなる。

そこで以下に、図-1の概念の中に関係してくると思われる主体の側から、根本的エンジニアリングに関する現状を再度整理する。

3. 2 根本的エンジニアリングの関係主体

根本的エンジニアリングに関係し得る、すなわち根本的エンジニアリングの場で活動すると思われる主体を表-2に列挙し、関連する活動現状を概観した。

表-2 根本的エンジニアリングへの関係主体とその活動状況

主体	関連活動の状況
大学	<ul style="list-style-type: none"> 根本的エンジニアリングの基本要素となる科学技術研究の実施主体。 研究テーマによっては研究融合も行なうが、社会価値実装にまでの着手は少ない。 根本的エンジニアリングを実践する人材育成の動きも多少出てきており、根本的エンジニアリングに直接関わる業務である産学連携やTLOの活動は活発である。 しかし、根本的エンジニアリングを学問的に捉えようとする動きはまだ少ない。
国の研究機関	<ul style="list-style-type: none"> 根本的エンジニアリングの基本要素となる科学技術研究の実施主体 研究テーマによっては研究融合も行なうが、社会価値の実装まで着手することは少ない。 根本的エンジニアリングを学問的に捉えようとする動きは見当たらない。
企業	<ul style="list-style-type: none"> 事業目的に応じて、「対象市場に対応するものづくり」あるいは「保有技術を基盤とするものづくり」といった意味での根本的エンジニアリングは（暗黙知として）実践してきており、自動車やエレクトロニクス産業などの国際競争力の源泉とも言える。 しかし根本的エンジニアリングを社会課題、社会価値の視点も含めて明示的に捉える、さらにはこれを蓄積・伝承するといった動きはまだ見当たらない。 根本的エンジニアリングの基礎となる能力も、特に自社技術のポジショニングや外部技術評価、市場・社会のニーズ把握、さらには社会価値からの評価、等々未だ不十分である。
国・地方自治体	<ul style="list-style-type: none"> シーズ展開、産学連携イノベーション創出、地域イノベーション創出、SBIR（中小企業技術革新制度）といった多様な補助金や支援活動が、国だけでなく地方自治体でも進む 文科省の産学官コーディネータ、(独)工業所有権情報・研修館の特許情報活用支援アドバイザー、さらには地方自治体の中小企業支援アドバイザーなど、根本的エンジニアリングを推進すべく人的支援の仕組みも各種ある。 個別の実践は進んでいるが、総合的な理解と視点、考え方などが確立していないため、「地球」「国」「地方」「企業」といった複合視点を持つ人材不足などが見出されている。
調査研究機関	<ul style="list-style-type: none"> 日本では総研各社、米国ではSRI International、Battelle Memorial Instituteなどが、幅広い科学技術分野に対応し、個別課題に対する研究分野の融合や、

	<p>個別研究テーマを活用した社会課題対応のための製品化、などに活動している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大企業や省庁、自治体などに対し、このように（特定テーマに対する）俯瞰的・包括的な視点からの研究開発や調査、コンサルティングを提供することで、根本的エンジニアリングの一部の要素を実践・提供している。
その他の 専門企業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国の Science Applications International Corporation (SAIC) 社は、「国や民間企業の技術課題解決」を主とした事業展開をしており、対象とする科学技術分野の広さからも、根本的エンジニアリング自体に焦点を当てたコンサルティング及びマネジメントサービスの事業活動と見られる。 ・ その他、ロボット、地域開発、といった専門分野別のコンサルティング企業も、関連した活動を推進している。

ここに示されているように、既に各主体においても根本的エンジニアリングに関わる動きは何かしら出てきている。本提案による根本的エンジニアリングの概念確立によって、これら関係主体の役割や相互関係などのあり方（いずれも多様に存在する）、さらにはそのあり方における共通留意点などがより明確化され、さらに具体的且つ統括的な推進が可能になるものと考ええる。

第四章 根本的エンジニアリングの確立に向けた提言

4. 1 アクションプランの考慮点

今後、根本的エンジニアリング概念の研究・整備を進め、社会課題と研究・技術とを結びつけるプロセスをより効果的に駆動できる場の確立を目指していくために必要となる活動としては、下記のように考えることができる。

まずは、根本的エンジニアリングの活動の蓄積と定義の整備、さらには学問的な位置づけを明確にすることが基本的に必要である。その上で、社会基盤整備、人材育成、及びその技術（ノウハウ）基盤整備の3つの活動を複合的に進めることが、今後求められるであろう。

各活動の概要は下記の通りである。

社会基盤 … 根本的エンジニアリング推進のための既存施策の再検討、新施策の設置検討、など

人材育成 … 技術経営教育、科学技術政策学などとの関係性も考慮した、根本的エンジニアリング人材育成の体制検討

技術（ノウハウ）基盤 … 既に行なわれてきている企業の事業開発／製品開発マネジメント活動や自治体、大学などとの相互関係、総研やシンクタンクによる課題発見や技術事業化活動、さらには近年盛んになっている産学連携コーディネーションなどにおける現状の技術・ノウハウの解明と、根本的エンジニアリング技術としての整備

特に、根本的エンジニアリング技術の基盤として重要な「既存技術の評価」や「市場ニーズの把握」、さらには「社会課題の把握」、「社会への影響把握」については、その重要性は理解されているものの、まだ企業レベルだけでなく大学や地上自治体、国のレベルでも十分成熟していない。また根本的エンジニアリングを、誰がどのような場で推進すべきかについても、整理と啓発が重要である。

4. 2 必要なアクションプラン

このような方向に向けて、具体的には、今後短期的には下記のようなアクションが必要となっていく。

第一に、根本的エンジニアリングの場のあり方の検討組織を、たとえば総合科学技術会議の下に立ち上げ、その深堀を行う。そこでは、日本工学アカデミーのような総合的にエンジニアリングを議論できる場を活用する。

第二に、第4期科学技術基本計画では、根本的エンジニアリングの実現に向けて、現在欠けている点に注力し、社会価値を高め潜在課題を見いだす活動の推進を基本方針とする。この活動推進によって、根本的エンジニアリングとしての知識の蓄積を図るものである。

このような活動を重ねた結果として、知識が体系化され学問領域としての根本的エンジニアリングにかかわる工学が成立する。体系化により、長期的にはこれに基づいた教育も可能となる。近代、個別専門に分化された工学としての研究、教育が太宗を占めてきた弊害を取り除く必要手ある。将来は、日本の科学技術分野を「問題解決に優れた」現状から「問題解決も問題発見にも優れる」ものへと発展させるための人材（人財）育成、そしてさらなる知識の蓄積へと向かう、正のスパイラルとして期待するものである。

以 上

添付資料： 根本的エンジニアリングの必要性を示す事例

根本的エンジニアリングの日本における必要性を示す事例を、以下にあげる。

[事例1] インバータエアコンと配電昇圧

わが国ではエアコンなどの家電品に関する製品開発に力を入れてきている。インバータ技術やヒートポンプ技術を最大限に活用し、10年前にくらべても、約50%近い省エネルギーを実現している。他の国の製品に比べても5分の1以上の電力消費低減を実現している。これらは、家電品の省エネルギー化という、石油ショック依頼の見えている課題を解決すべく、産学官が協力して実現した技術革新である。

ところが、わが国では家庭に供給されている電力の電圧が100ボルト（一部は200ボルト）であることから、配電ネットワーク全体としては他の国に比べて、省エネルギーとなっていない。また、この制約の下でのエアコンの省エネルギー化が測られて来ている。このように、見えている課題や解決のしやすい課題に対する技術革新に関しては、ものづくりの力が発揮されるが、システム全体としての最適化、あるいは、顕在化していない課題に対してはこれを対象としないで進んできている。

参考資料：佐々木、鈴木「新エネ導入、CO2削減に貢献する配電昇圧化の意義」OHM, 2009年4月号

[事例2] パワーエレクトロニクスとスマートグリッド

わが国では、パワーエレクトロニクスの技術開発が古くから行われ、電力系統の中にも多くの技術革新が行われている。たとえば、静止型無効電力供給システム、直流送電システムなどが高効率で実現している。しかし、近年米国を中心に進められているスマートグリッドの構想や、それに向けてのコンセプト作り、技術開発が行われていない。

このように、目に見える製品の技術開発、問題解決は取り組まれるものの、将来の電力系統のあり方を対象とした、潜在的な課題に対しては気づかずに対応がなされていない。改良型のイノベーションは実現できても、複雑なシステムのマネジメントを伴うイノベーションが発生しない原因となっている。

参考資料：<http://www.oenergy.gov/smartgrid.htm>

[事例3] 人の移動

移動ニーズは人社会にとって根源的なもので、人、モノ、金、情報の全てにわたりさまざまな具体的ニーズがある。ここでは人の移動を考える。

通学、ショッピング、ビジネスからレジャー旅行までそのニーズは幅広い。人はそのニーズに応えるため船、鉄道、車、航空機などのさまざまな移動手段を開発し、利用してきた。これらの移動手段はいったんその分野が確立されると、水陸両用自動車などのごく一部の例外を除いて、その分野の中で高度化のための技術開発が推進された。鉄道車両の材料、構造開発による軽量化、パワーエレクトロニクス応用による快適性の向上と省エネルギー化はその典型例である。自動車技術におけるハイブリッド化、電気自動車開発による低炭素化も別の典型例である。鉄道と自動車の間の相互乗り入れは部品レベルの要素技術を除いてほとんどない。

しかし持続可能な社会、低炭素社会、高齢者などのハンディキャップを持つ人にも優しい社会の実現といった大命題に移動ニーズの充足の側面から取り組むには、このような分

野の壁の上から鳥瞰的に解決すべき課題を創出し、関連する科学技術の進歩発展をリードすることが重要になろう。たとえば鉄道と自動車を取り上げると、鉄道は大量輸送に適す反面、移動の自由度は制約され、車両はオンラインでエネルギー供給を受けないと走行できないという意味で受動的である。一方で自動車は移動の自由度が極めて高く、走行に必要なエネルギーを含めて全てを自己完結的に持っているが、貴重な石油資源を大量に消費するという決定的な弱点を持っている。中間形態として自動車の中にバスがあるが、社会が豊かになり自家用車が普及するにつれ、輸送効率は低下する。社会科学研究を含めて21世紀社会にふさわしい移動のあり方に関する根本的検討(メタエンジニアリング)が必要である。

[事例4] 技術の高度化と社会モデル

電力は使い勝手のよいエネルギーであるために、消費されるエネルギーの中に占める割合は年々高まっている。20世紀には電力エネルギーは原子力、火力などの大容量発電所で集中的に生産され、電力系統を介して利用者に供されるのが基本的なモデルになっていた。21世紀になり脱炭素化社会の実現が大きな命題となるなかで、風力発電とか太陽光発電への注目度が急速に高まっている。自然エネルギーを利用した分散型発電である。これらの発電技術は高度な技術の結晶であり、それが分散するということは管理主体も分散するということである。管理者は地方公共団体になり、NPO法人になり、そして一般家庭の個人になる。これらの発電設備を運転し続け、廃棄するプロセスについて十分に検討する必要がある。運転を続けるためには技術力が必要である。設備が個人の所有物として分散すればするほど、廃棄の問題は解決が難しくなる。電力エネルギーの利便性を享受する消費者にとっては、電力エネルギーを消費できる状態があればそれでよい。もちろん環境問題への関心から、どのような発電手段で得られた電力化を問題にする場合もあるが、だからといって自分で発電設備を運転し、故障したら修理し、廃棄したいとは考えない。20世紀とは桁違いにおびただしい数の分散発電設備が国土の中に広く分散して配置されていく中で、その所有、運転、保守、廃棄のあり方の最適化が重要な課題である。(ちなみに電力システムは複数の発電所、複数の消費者がつながれていることが、信頼度の面でも効率の面でもきわめて重要である。つなぐ部分を電力系統と呼んでもよいしグリッドと呼んでもよいが、その部分の技術を含む鳥瞰的な検討をしないと木を見て森を見ない議論になる点を特に付言したい。)

以上、発電設備について述べたが、技術的に高度な設備、特に家庭用設備について、その所有、運転、保守、廃棄のあり方の最適化を社会システム面から根本的レベルで検討(メタエンジニアリング)することは、無駄の少ない、すなわち低炭素で環境問題に配慮した社会の実現のためにきわめて重要であろう。われわれは集中型技術の所有、運転、保守、廃棄のあり方についてはすでにかなり高度な知見を持っている。しかし拡散型技術についてはきわめて不十分なレベルにあり、そのあり方に関する根本的エンジニアリングが急務である。

参考資料：茅、他「エネルギー新時代」省エネルギーセンター、1988年

[事例5] ものづくりと全体最適

ものづくりとは、どのようなものをなぜ作るのかというフェイズと、それをどう作るのかというフェイズが存在し、この両者が備わって始めてイノベーションが誕生する。しかし、わが国では、後者に比重がうつっている。PCなどの製品、通信システムについては、優秀な技術を持ちながら、なぜインターネットがわが国から創出できなかったのか。ゲームや、iPod/iフォーンのようなしくみ、事業、製品が育たないのだろうかとの問題意

識がある。エレクトロニクスの技術は優れ、iPod/i フォーンの部品にわが国の製品が使われているが、こうした概念、製品がわが国から出てこない。従来の社会通念を根本的レベルで見直す中で新たな課題を創出し(潜在的課題を見出し)、解決していく社会システムのあり方、なかんずく科学技術政策のあり方の見直しが必要ではないかとの問題意識がある。

日本工学アカデミー政策委員会
「我が国が重視すべき科学技術のあり方に関する提言
～ 根本的エンジニアリングの提唱 ～」
タスクフォースメンバー

幹事：鈴木 浩（日本工学アカデミー、GE エナジー 技監）
委員：有信睦弘（日本工学アカデミー政策委員、(株) 東芝顧問）
委員：大来雄二（日本工学アカデミー政策委員、金沢工業大学客員教授）
委員：松見芳男（日本工学アカデミー政策委員、伊藤忠先端技術戦略研究所長）
委員：吉田 眞（日本工学アカデミー会員、東京大学教授）
委員：酒井善則（東京工業大学教授）
委員：佐藤千恵（(有) ビズテック代表取締役）
委員：永田宇征（科学技術博物館主任調査員）
委員：山口栄一（同志社大学大学院ビジネス研究科教授）

ご協力いただいた方々

伊藤裕子氏（科学技術政策研究所）
松本洋一郎氏（東京大学教授）
丹羽邦彦氏（科学技術振興機構）
山口栄一氏（同志社大学教授）
福田佳也乃氏（科学技術振興機構）



〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F
Tel: 03-5442-0481, Fax: 03-5442-0485
E-mail: academy@ej.or.jp, URL: <http://www.ej.or.jp>

© Copyright Reserved 2009