

根本的エンジニアリングによるイノベーション創出

鈴木 浩
(日本経済大学大学院)

大来 雄二
(金沢工業大学)

概要

筆者らは、ブレイクスルー型のイノベーションを生み出すために有効な、動的なエンジニアリング手法である、新たな創造的概念「根本的エンジニアリング」(英語名: Meta-Engineering)を提案する。

科学技術の分野で国富を生もうとしている国々は、地球規模で拡大し、多様化しているさまざまな課題への取り組みで、主導的役割を期待されている。そこで期待されている解は、地球環境の保全と持続的成長の両方を、調和させつつ達成するようなものである。それらの国々がその役割を果たすためのカギは、地球規模の課題、科学技術、そして新しい社会的価値を絶え間なく関係付けて検討することによって、よりよい解を得るところにある。

ブレイクスルー型のイノベーションを引き起こそうとするときには、浮かび上がってきた課題の解を科学技術の面からだけ探そうとするのでは不十分である。ここで提案する手法は、地域経済や地域社会から、国レベルで、そして地球規模で直面する課題解決に、スパイラル上に一つひとつの手順を追って取り組むことが、イノベーションを引き起こす推進力になるとの考えに基づいている。ここでは4つの手順を、スパイラル上に組み合わせたプロセスを提案する。その4つの手順がマイニング (Mining)、エクスプローリング (Exploring)、コンバージング (Converging)、インプリメンティング (Implementing)であり、全体を総称してMECI (メキ)、あるいはMECIプロセスと呼ぶ。それぞれを次のように定義する。

Mining:

地球社会が抱える様々な顕在化した、あるいは潜在的な課題やニーズを、問い直すことにより見出すプロセス

Exploring:

こうした課題を解決するために必要な科学・技術分野を俯瞰的にとらえる、あるいは創出するプロセス

Converging:

課題解決への必要性に応じ、多様な科学・技術分野等の融合や、新しいアプローチとの組み合わせを進めるプロセス

Implementing:

新たな科学・技術を社会に適用、実装しそれにより新たな社会価値

を創出する。その過程で、次の潜在的な課題を探すプロセス。

MECI プロセスの実践、実践を容易にする場の実現が、ブレイクスルー型イノベーションの継続的創出に有効であろう。

第1章 エンジニアリングの視点

「エンジニアリング」ということばは、さまざまに定義、説明されている。例えば米国の工学アカデミー(National Academy of Engineering; NAE)は、そのレポート「2020年の技術者」で、次のように述べた^[1]。

エンジニアリングという行為は、きわめて創造的なものである。エンジニアリングという言葉の最も洗練された説明は、「エンジニアリングとは制約条件下でのデザインである」というものであろう。技術者はさまざまな素子、部品、部分システム、システムをデザインする。好結果という言葉の意味を、直接的にせよ間接的にせよ生活の質を向上させる結果を生むということだとして、好結果を生むデザインを創造するということは、技術、経済、事業、政治、社会、あるいは倫理といった面からのさまざまな制約条件を満足させることのできる結果を生むということである。技術はエンジニアリングの成果である。科学が直接、技術的成果を生むことはまれである。それはエンジニアリングを単に科学の応用とみなすことが正しくないことと類似している。歴史的に、飛行機だとか蒸気機関、内燃機関といった数々の技術的進歩は、内在する科学的知見がこれらの技術を解き明かす前に、現実のものとなった。しかしもちろんのこと、これらについての科学的解明がなされた後は、科学はこれらの技術をよりいっそう価値のあるものにすることに役立ってきた。

筆者らは、こうしたエンジニアリングに対する従来型の定義で 21 世紀も十分なのかとの疑問をもった。制約条件をはじめに立てることによって、視野や使われる科学技術に制約が係り本来の解決策に結びつかないのではないか。こうした限界が、近年、科学技術は成果を挙げているもののイノベーションが活性化していないのではないかとの疑問である。

第2章 欧州と米国のコンバージング・テクノロジー(CT)

欧米では、課題解決に結びつく技術のあり方をコンバージング・テクノロジー(CT)と名づけ、その内容を検討していた。両者でアプローチの仕方に若干の違いはあるが、いずれも将来の課題の候補を挙げそれを解決するための科学技術を探っている^{[2][3][4][5]}。その解決策がCTである。米国では、4つの科学技術の分野、すなわち、ナノ、バイオ、インフォ(情報通信)、コグノ(認知科学)が中核になるという。これをまとめて、NBICと称している。しかし、課題の解決にはこれらの個々の科学技術だけでは役に立たず、これらを収束させることが必要であるという。これがコンバージングという名称の由来である。元になる4つの分野はそのまま必要なものとして残るが、新しい分野はこれらの融合として誕生するという考え方である。

第3章 日本におけるコンバージング・テクノロジーへの取り組み

わが国にもこうした考えが適用できるであろうか。わが国はこれまで与えられた課題に対して、きちんと対応し、最適な答えを見つけることに長けていた。エアコンの省エネルギーを実現するために、ヒートポンプや、インバータ制御の技術を駆使して、世界的に見ても最高効率の機器を開発してきた。一方で欧州などは、家庭で使う電圧をわが国の100ボルトに対して230ボルトとすることでシステムとしての省エネ化を図ってきている。効率の良い自動車を作る課題に対しては、わが国では、内燃機関と電気自動車の組み合わせによるハイブリッド車という技術を開発する。課題が与えられたときのものづくりの真髄である。

わが国では、このように解決策の策定は十分行われてきたとあっていい。CTは決められた課題に対しては実現できていると考えてよいだろう。それではわが国でイノベーションが数多く生じない原因はなにか。むしろ、見えている課題の裏にある本当の課題を探ることを始めなければいけないのではないか。これが、新たなエンジニアリングの考え方にいたった経緯である。

第4章 根本的エンジニアリング

著者らは、もう一度エンジニアリングのあるべき姿に立ち返って考えてみることにした。そして、こうした新しいエンジニアリングに、根本的エンジニアリングという名を冠した^[6]。エンジニアリングを4つのプロセスにわけ、そ

れぞれをつないで課題を解決し、社会価値を高めてゆくプロセスと定義する。

「図1」に示すこの4つのプロセスは以下に定義できる。

Mining:

地球社会が抱える様々な顕在化した、あるいは潜在的な課題やニーズを、問い直すことにより見出すプロセス

Exploring:

こうした課題を解決するために必要な科学・技術分野とを俯瞰的にとらえる、あるいは創出するプロセス

Converging:

課題解決への必要性に応じ、多様な科学・技術分野等の融合や、新しいアプローチ法との組み合わせを進めるプロセス

Implementing:

新たな科学・技術を社会に適用、実装しそれにより新たな社会価値を創出する。その過程で、次の潜在的な課題を探すプロセス。

これらのプロセスの頭文字をとって MECI (メキ) と呼ぶこととした。この4つのプロセスを繰り返すことによって本質的な課題が解決でき、社会価値が増してゆくことになる。こうした回転を続けられるには、根本的エンジニアリングの「場」と称される環境が必要となる。

このプロセスを回転させるには、「なぜ」(why)、「何を」(what)、「どのように」(how)を問い続けることが必要となる。ある課題が与えられたときに、もう一度「なぜ」を問う。課題が与えられたときに直ちに、「何を」、「どのように」解決するかには走らず、「なぜ」その課題が解決されなければならないのか、「なぜ」それが課題となるのかを問う過程である。

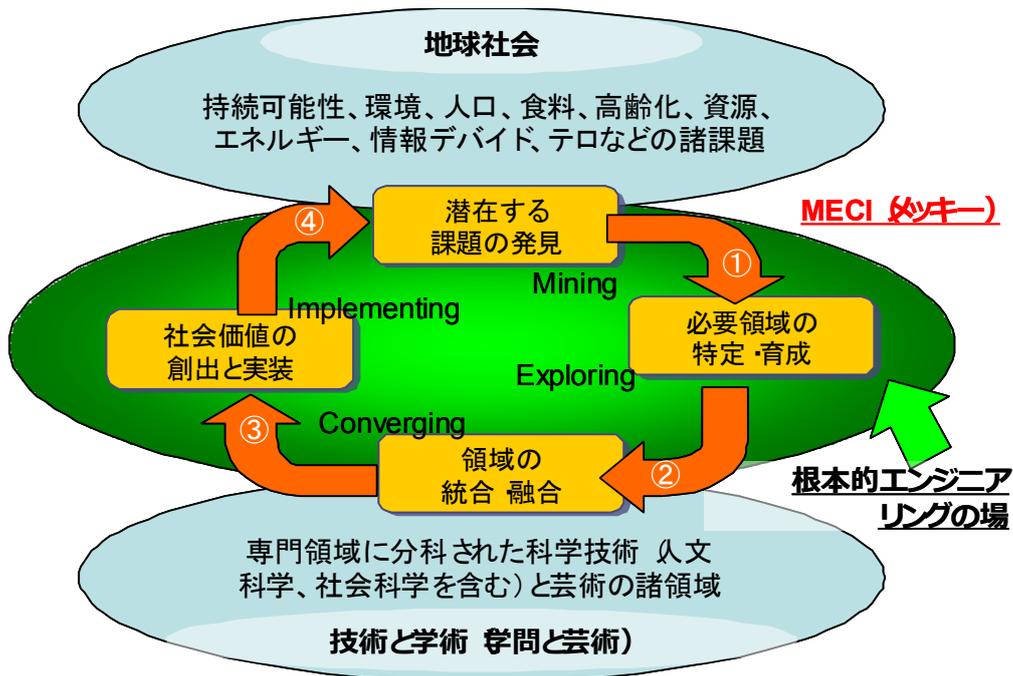


図1 根本的エンジニアリング

第5章「なぜ (Why)」のプロセスの重要性

4つのプロセスを深めてゆくには、「なぜ」を問うことが大切である。

ひとつのたとえ話をとり上げてみよう。「図2」に示すように、あるお客がジュースがほしいというとき、従来のやり方は、高性能なジュースを買ってきて、新鮮なフルーツでおいしいジュースをつくり、お客に提供する。お客は、100%満足する。この時にかかった費用は、新鮮なフルーツと高性能なジュースでたとえば、9ドルかかったとしよう。ジュースは、高級なので、10ドルで売れたとすると利益は1ドルとなり、10%の利益が得られる。

Customer Centered vs. Market Centered

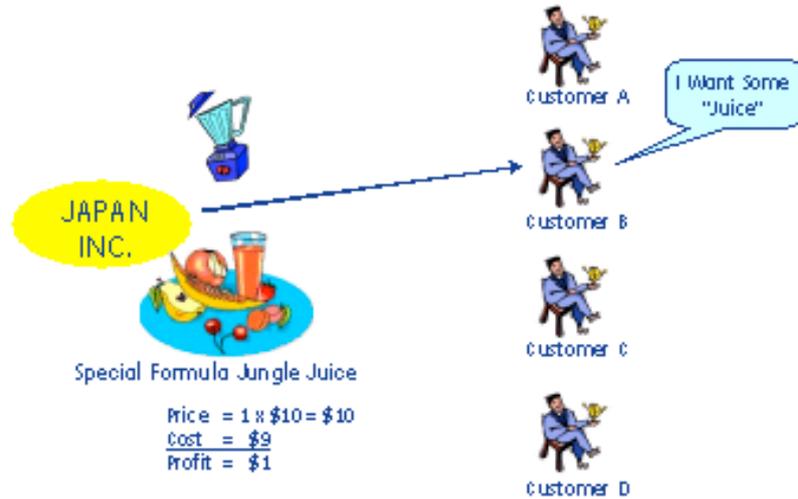


図2 顧客を中心にしたアプローチ

Customer Centered vs. Market Centered

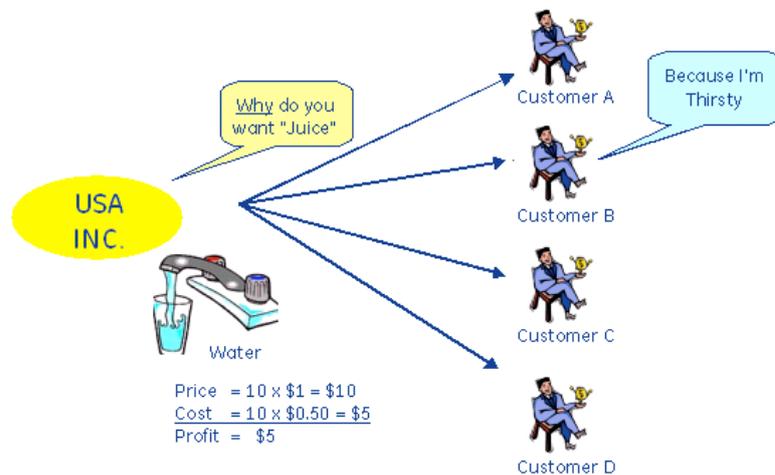


図3 市場を中心にしたアプローチ

一方、「図3」に示すもうひとつのアプローチは、お客がジュースがほしいと言ったときに、「なぜか」と尋ねる。お客の本当のニーズが、のどが渴いていると言うなら、水を持っていく。ほかにものどが渴いているお客がいるので彼らにも水を提供することができる。個々の客の満足度は低くても、全体としての満足度はたかい。この時の収支は以下ようになる。すなわち、かかった費

用は水であるから一杯50セント, 売値も1ドルと低価格である。しかし, どの渴いているお客が10名いれば, 収入は, 10ドル, 支出は5ドルで, 5ドルの利益が得られる。この5ドルでまた, 新しいことができる。

この二つのアプローチを比較してみよう。従来方法では, 本質的なお客の本当の要求が理解できていない。それは「なぜ」のプロセスが無いからである。「何を」と「どのように」に特化した対応になっているのである。「なぜ」を問うことで, 本質的課題を発見し, 「何を」作ればよいかが見出される。その後は, 「どのように」それを作ればいいのかのプロセスとなる。

第6章 根本的エンジニアリングの方法論と具体例

方法論としての根本的エンジニアリングについて, 実例を用いて説明しよう。根本的エンジニアリングの思考は, “why”から始まる。何が“why”になり得るか。それは人類とか地球の sustainability に関するものであれば, 何でもよい。逆に, それに基礎を置かないものは, 妥当性を欠く。例えば, 次のような課題設定は全く不適切である。「私は金をもうけたい。そのためには社会的弱者を欺く技術を開発すればよい。年少の子供たちとか引退した高齢者も携帯電話を持つようになっているので, 携帯電話による詐欺の技術を開発しよう」。

根本的エンジニアリングを実際の課題に適用するときの概要は, 「図4」のようになる。図において, まず, Why を前提におく。そして上から下へと, 手順

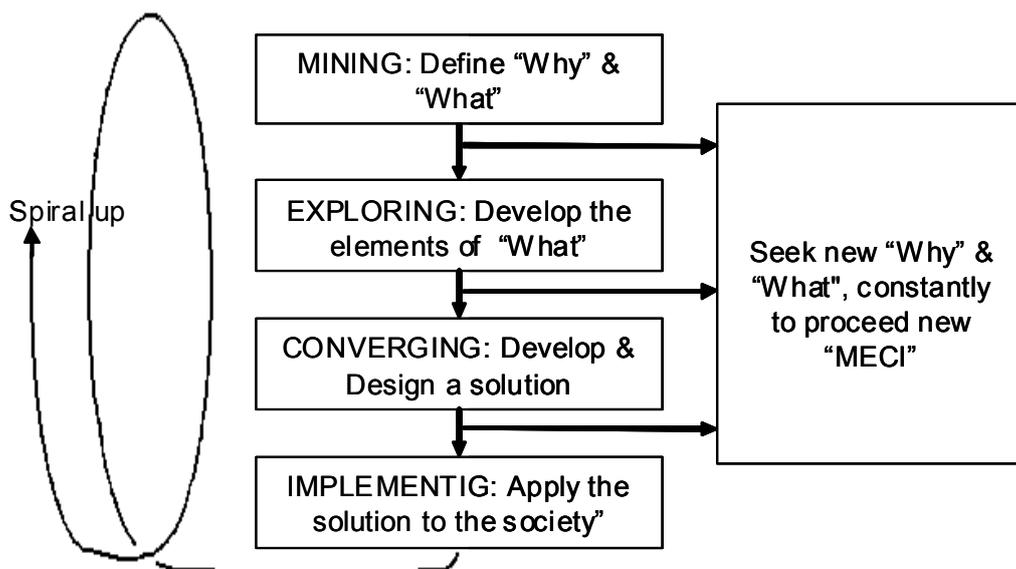


図4 方法論の概要

を踏んで MECI の思考と実践を進める。そして、そのプロセスをスパイラル的に繰り返してゆく。ここで、特記しておきたいことがある。それは上から下への一連のプロセスから、右に伸びる矢印の部分である。すなわち MECI のプロセスをたどりながら、常に新しい” why” と” what” を探し続けるとしている点である。

まず、” Why” を設定する。本章の冒頭にも述べたように、われわれは何にでも根本的エンジニアリングが使えるなら使えばよいとは考えなかった。それは地球社会のためにあり、なぜ根本的エンジニアリングを適用するのかと言えば、それは「人類の生存と地球環境の維持のために、科学技術をもっと活用していかなければいけない」からと考えた。これが” Why” である。そして具体例として、エネルギー分野を対象にして、考えてみよう。「図5」において、まず”What”をエネルギー分野として、そこでの”Why”を考える。

先に述べた Why を受けて、” Why” として、「エネルギー問題は、人類の生存と地球環境の維持のために、避けて通れない課題である」と設定する。そして、それを受けて”What”を検討してゆく。「エネルギー消費に占める電力エネルギーの割合は高く、また継続的に高まっている」と考えを進める。課題のより具体的な表現として、「電力エネルギーの発生と消費、そしてその間をつなぐグリッドの関係が、劇的に変わりつつある」、あるいはよりポジティブに、「劇的に変えることにより、What の解決策の一つを提供できる可能性がある」とする。

MINING: Define “Why” & “What”

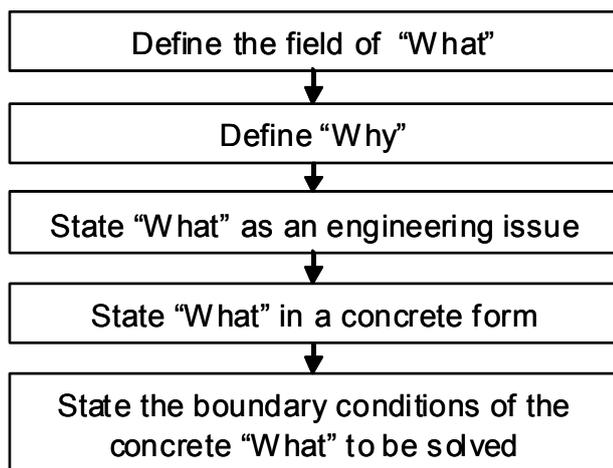


図5 Mining のステージ

ここで、グリッドということばについて補足する。いわゆる電力系統、あるいは送電ネットワーク、配電ネットワークと称される部分である。一般には、このグリッドという部分が電力エネルギーを

効果的に利用するためにどうして役に立つのかが、余り理解されていない。しかし、グリッドは、発電所で電気を起こして、需要地で電気を使う間に位置し

て、たいへん重要な役割を担っている。だから、電力エネルギーの発生と消費、そしてその間をつなぐグリッドの関係を劇的に変えることにより、大きなイノベーションを引き起こすことができる可能性がある。その変化を適切に導けば、人類の生存と地球環境の維持のためにおおきく貢献することもできよう。ごく最近まで、日本ではグリッドということばはほとんど使われず、電力系統間ことばがかなり専門的なことばとして使われるのみだった（ちなみに、米国等では”grid”は網目を意味する一般名詞としても、電力システムにおける送配電網としても、一般的に使われることばである）。しかし、米国のオバマ大統領が国内景気浮揚策の一環として「スマートグリッド」を打ち出して以来、日本でも一気に注目されるようになった。今、注目されているスマートグリッド¹について、根本的エンジニアリングを適用して考えてみようというわけである。

“What”さらに具体化しよう。例えば次のように課題を設定する。「大規模化することにより、効率と信頼度を高めてきた従来型電力システムと、消費者が電力供給者にもなる、小規模電力システムの両立が課題である。」従来の電力システムを支えてきた大規模電力系統の長所を損なうことなく、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーを生む装置も高度に活用することにより、社会の便益をより高めることを考える。大規模集中化と小規模分散化を有機的に組み合わせるイノベティブな仕組みを創出することが、根本的エンジニアリングをスマートグリッドに適用したときの、マイニング・ス

EXPLORING: Develop the elements of “What”

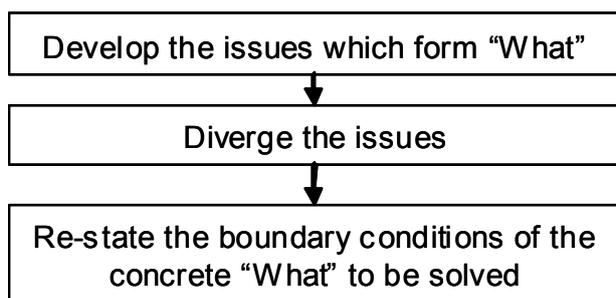


図6 Exploring stage

テージの“What”である。ここには興味深い技術的課題が山積しているが、それだけではなく、社会的便益が実際に高まってこそ、人類の生存と地球環境の維持に役立つイノベーションになると考えることが大切である。

それでは、エクспローリング・ステージに進

¹ スマートグリッドにはさまざまな定義がある。ここでは、従来の火力、原子力、水力の発電所に加えて、さまざまな電力発生装置（太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーを生む装置）が大規模に電力システムに入ってきたとき、新しい電力機器（スマートメータとか蓄電装置）を組み込み、全体を高度な情報システムで連携制御することにより、社会的便益をより高めた電力システムのことをイメージすることにする。

もう。このステージのプロセスを「図 6」に示す。ここでは、マイニングで具体化したスマートグリッドに関する“What”が、何によって構成されているのかを探索する。その構成要素は数多くある。例えば、旧来の発電設備に加えて、太陽光発電設備、風力発電設備、電力貯蔵装置(蓄電器や自動車バッテリー)、家庭とかビル・工場などの多様な電気設備、これらを接続する情報通信設備や制御用ソフトウェア、そしてグリッドそのもの。大規模都市や郊外地区、農漁村を支えているさまざまなインフラ設備も、多くは電気エネルギーを用いているので、それらのことも考える必要がある。

この段階では、ときに意図的に発想を拡散させることもよい。そうすることによって、解決すべき新たな“What”を見出せるし、“Why”を再定義することもできるかもしれない(「図 4」の右方向の矢印)。例えば、都市や農村における交通インフラのあり方についても考えてみようということになるかもしれない。都市部では電車、バスと明確に区分されている公共交通システムの区分自体を含めて、再検討してみようということになるかもしれない。農村部は過疎化高齢化が進んでいることを踏まえ、従来とは異なるイノベーティブな交通インフラの検討と構築が必要だというように、思考が展開してゆくこともあるだろう。

スマートグリッドの“What”の構成要素として上に挙げたものは、みな設備としての構成要素であった。しかし、構成要素はそれだけではない。電気の配電と消費に着目してみよう。家庭に関しては交流(AC)の電圧 100V で配電され、消費されている。しかし家庭電気設備には AC を直流(DC)に変えて使うもの、AC を DC に変えてさらに AC に再変換して使うものが増えている²。変換すれば、それに伴ってロスが発生する。太陽光発電設備の出力は DC だし、風力発電設備の出力は、周波数が不安定な AC である。自動車がグリッドに接続されるようになったとして、自動車のバッテリーは DC である。電圧とか AC/DC とかに関し、何が最適なのかも、興味深い課題であろう。

電力貯蔵も、スマートグリッドの興味深い課題である。電力は貯められないものなので、需要が発生したらそれに見合って発電すると今までは考えてきたし、設備を用意してきた。例外は小規模なものとしては電池のようなもの、大規模なものとしては電力需要が少ない時間帯に電気を使ってポンプを回して水を高いところ(上池)にくみ上げ、需要が多くなったらその水を低いところ(下池)に落として水力発電する揚水発電設備があった。しかし太陽光、風

² テレビやパソコンの制御回路は DC で動くので、AC を DC に変換して使っている。エアコンも冷蔵庫も柔軟な制御を可能にした高性能な機種は、AC を DC に変換し、DC を周波数を変化させた AC に再変換させて使っている。そこには高度なパワーエレクトロニクス技術が活躍している。

力のような小規模で不安定な電源が大量に分散配置され、自動車のバッテリーも状況次第で蓄電設備として使えるとなると、電力貯蔵のあり方はかなり変わるであろうし、変え方を技術的だけでなく、多様な切り口で十分に検討しないと、無駄の多い電力エネルギーシステムを作ってしまうことになりかねない。

今述べた多様な切り口について、少し考察してみよう。多数の小規模電源の分散配置は、必然的に電気の地産地消に向かう。グリッドも地域のグリッドが持つ意味が、より重要になる。しかし、そのとき大規模発電設備、大規模グリッドは不要になるのか。結論を急ぐようだが、そのようにはならない。キーワードは設備効率と電力供給信頼度を含む、社会が負担すべきトータルな電力エネルギーコストとリスクである。

他にもさまざまな切り口で考える必要がある。設備の互換性あるいは標準化や保守、そして廃棄の問題。設備投資を含むビジネスのモデル。規制の問題もある。

これらの切り口を整理する必要がある。整理するとは、エンジニアリングの側面から言えば、さまざまな開発すべき課題について、研究開発の仕様を具体的に明確化するということである。上述したマイニングとエクスプローリングのステージは、仕様の明確化、研究開発の制約条件を創造的に明確化することに有効である。根本的エンジニアリングのこの部分だけを切り出して、その特徴を述べるならば、地球社会のニーズに合致した制約条件を創り出すエンジニアリングであるともいえるだろう。

なお、根本的エンジニアリングでは、以上の二つのステージに引き続いて、コンバージングとインプリメンティングのステージがある。そしてそれら4つのステージをスパイラル上にたどることを可能にする「場」の創造の問題がある。その全体像がすでに示した図1である。これらについては別途考察することにする。

第8章 むすび

根本的エンジニアリングは、これまで、他の先進的な国において創出されてきたイノベーションを見習う過程から、トップランナーとして新たなイノベーション創出が必要になったときに欠かせない考え方である。与えられた課題に対する解決に奔走するのではなく、われわれの社会や生活において本当の課題とは何かを、whyを重ねることで発掘し、これまでの制約をはずしながら、既存のあるいは新たに作り出された科学技術芸術をうまく収束させながら解決し、社会価値を高めてゆく。最終的には、わが国にとどまらず、グローバ

ルに、イノベーション創出にとって有効な考え方である。

今後は、この考え方を広めると同時に深めながら、こうした根本的エンジニアリングが発揮できるような場の創出にも尽力してゆきたい。

謝辞

本研究は、日本工学アカデミーの根本的エンジニアリング作業部会のメンバーとの議論の中で行われている。池田佳和（大谷大学）、伊藤裕子（文部科学省科学技術政策研究所）、勝又一郎（その場工学研究所）、小松康利（渡辺製作所）、松見芳男（伊藤忠）、永田宇征（国立科学博物館）、佐藤千恵（ビズテック）各位に紙面を借りて御礼申し上げる。活動は、日産財団の助成を得て行われている。

[参考文献]

[1]” The engineer of 2020: visions of engineering in the new century,” NAE.

<http://www.nae.edu/nae/engeducom.nsf/weblinks/MCAA-5L3MNK?OpenDocument>

[2] 伊藤裕子, イノベーションをもたらすと期待される Converging Technologies 推進の政策動向科学技術動向, 科学技術動向 no. 71 (2007)

[3]Converging Technologies for Improving Human Performance, NSF (2002)

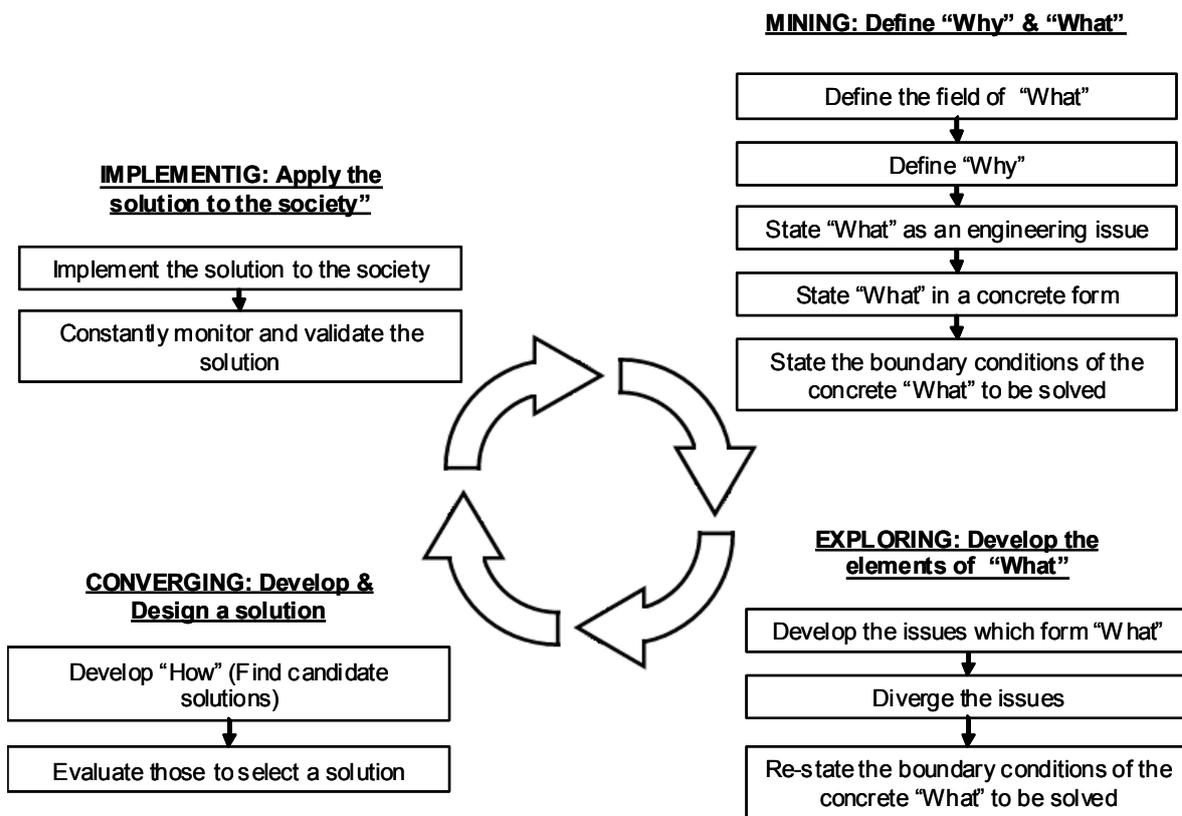
[4]Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies, EC (2004)

[5]Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technology Society, NSF (2005)

[6] 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 ～ EAJ, 2010, 3月:

<http://www.eaj.or.jp/proposal/CT%20meta%20engineering%20proposal%2005252010.pdf>

[7]H. Suzuki & Y. Okita, “Innovation Promoted by Meta-Engineering - Mining - Exploring - Converging - Implementing Process -,” IMETI, July 2011 at Orlando, Florida, US.



参考図 MECI サイクル (MECI スパイラル) の全体像