

日本のものづくりとシンセシオロジー

日本が優位を保ってきたものづくりに、新たな強みを付加することが求められています。そのためには、研究開発における新たな仕組みを構築する必要があります。日本においてものづくりを主導してこられた方々に、新たなものづくりの戦略とその中でのシンセシスの重要性、また、産総研の目指す本格研究の役割を語っていただきました。

シンセシオロジー編集委員会



座談会出席者

- | | |
|--------------|---------------------------------------|
| 成合 英樹 | 筑波大学名誉教授、前原子力安全基盤機構理事長 |
| 柘植 綾夫 | 芝浦工業大学学長、前綜合科学技術会議議員、元三菱重工業(株)代表取締役常務 |
| 矢部 彰 | 産総研理事(シンセシオロジー編集委員:司会) |

矢部 「シンセシオロジー」は「ものをつくりあげる」重要性を日本、そして世界に訴え、その方法論を多くの方と共有したいということを発刊の大きな目的にしています。

さて、研究開発の成果が実用化するまでには、その間の「死の谷」を越えるための克服すべき技術的な課題があります。幾つか事例を申し上げますと、私が関わったスーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム研究開発は、1993年までの約10年間でヒートポンプの性能を倍に上げるという国のプロジェクトでした。プロジェクトの終了時に東京工業大学の故片山先生が「レーシングカーができましたが、高級乗用車にはなっていませんね」と言われました。その後、世の中に出るまでにさらに十数年かかりました。まさにそこが「死の谷」と言えるのですが、この間にさまざまな技術が補強され、経済性と性能向上の両立に十数年かかったと言うことでしょう。今は国内販売や海外展開もされています。また、エコ・エネルギー都市システムでは水和物スラリーによる冷熱蓄熱輸送を開発しましたが、これは実用化されるまでに6年かかりました。エネルギー技術の場合、経済性は重要なファクターであり、この6年は経済性へのチャレンジだったと言えます。もう一つは、中小企業と一緒にいった自動車の製品検査工程の自動化です。レーザーの反射回折を使った自動検査装置で、原理は5年ほどでできたのですが、実際に自動車会社に売り込んでから実用化するまでに7年かかりました。これは信頼性、耐久性、高速性へのチャレンジでした。

一方、ニューサンシャイン、ムーンライトというエネルギープロジェクトの中には死の谷から抜け出していない技術がたくさんあります。そこでお尋ねします。死の谷を越えるための有効な方法はあるのか、また、死の谷を越えるために技術の統合の視点、つまりシンセシスはどの程度重要なのでしょうか、さらに、世界をリードすべき日本のものづくりの持つべき特徴は何があるのかということについて議論していきたいと思います。

ものづくりにおけるシンセシスの重要性

柘植 「世界をリードする日本のものづくり」とはフロントランナー型のイノベーション創出であり、巨大複雑系社会経済システムの個別先端科学技術創造と、その統合化能力の両方が不可欠です。巨大複雑系社会経済システムとは、例えばインターネットに代表されるような人工物の社会ネットワーク、高速



柘植 綾夫 氏

交通システム、原子力発電プラント、宇宙システムなどのように空間的、物理的あるいは社会的広がりが巨大であり、そこに内包される多数の要素の相互作用が複雑で、その性能と信頼性が社会と経済に多大な影響を与えるシステムを表していますが、ライフイノベーションやグリーンイノベーションの創出は、まさに巨大複雑系社会経済システムの創成と言えます。そして、世界をリードする高付加価値ものづくりの命題とは、図1に示すように認識科学「あるものの探求」と設計科学「あるべきものの探求」の相互作用、およびそれぞれの知の統合をしていくことであり、シンセシオロジーの重要性はここにありと私は思います。

矢部 巨大複雑系社会経済システムは、知の統合がないとつくりあげられない。統合にまさにシンセシスが関わってくるわけですね。成合先生、同じ論点でいかがでしょうか。

成合 私は機械工学科を1962年に卒業しましたが、当時の授業では機械、材料、流体、熱の4力学とともに設計製図や実験が重視され、実際の機械システムについての授業も多く、これは明治以来の外国からの導入技術をさらに日本流に進めるということが教育の基本にあったのだと思います。実験や設計をするにしても、強度や回転機械の振動などを自分で全部計算するという、ある意味でシンセシス的な授業が残ってありました。

ところが、1960年代後半くらいから工学部は基礎工学重視になり、大学では基礎を教え、専門は企業に行ってからということもあったかと思いますが、各専門分野の細分化が進みました。1977年に新構想として設置された筑波大学の工学分野では、基礎工学を大切にしつつそれを統合する設計を重視するとしていました。しかし、実際は研究も教育も基礎のほうに進んだ気がします。

明治以来の海外技術導入から自主技術開発、そして現在のグローバル化の中で、日本の特性を発揮した技術開発をしなければならず、シンセシスは技術開発を進める上で大変重要だと思っています。



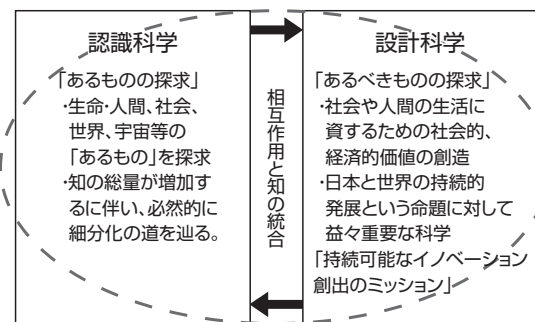
成合 英樹 氏

日本のものづくりの特徴としては、機器・システムを開発する大企業とそれを支える個別技術を有する中小企業があるということです。日本が技術による本格的な発展を開始した1960年代、中小企業に地方から優秀な若者が金の卵として集まり、技術の基盤形成にかなり寄与しました。ところが、1980年代には地方からの若者も少なくなり、コンピュータ化、IT活用も進み、技術が高度化しました。しかし、苦しい中、中小企業が日本のものづくりの高度化に対応しているのはすばらしいと思います。柘植先生はこのような日本的技術の継承を「日本型テクノゲノム」と呼んでいます。私の現在の心配は、産業がグローバル化し、激しい競争下において、日本独自の技術的な遺伝子情報が今後とも持続できるのかということです。いずれにしても日本の技術基盤をしっかりとさせるために、広い分野の統合化、シンセシスが重要だと考えています。

柘植 シンセシスの質は大きく分けると二つあると思います。世界の優れた個別の先端科学技術をオープンイノベーションで集めて統合化する「モジュラー型アーキテクチャー」と、個別の先端科学技術を複雑に組み合わせて社会経済的な価値を生み出す「インテグラル型アーキテクチャー」です。時間と、人と人・組織との間のコラボレーションも含めて価値を創造していくプロセスを考慮するならば、単にオープンイノベーションの時代だという一言では済ませてならないと思います。

技術の持つゲノム性を意味する“テクノゲノム”というコンセプトは石井威望先生の言葉です。日本のものづくりは発展途上国に追い上げられ、活路はないのかという話題になったときに、石井威望先生は「資金と度胸さえあれば短時間で技術が移転できるものもあるだろうし、時間がかかる技術もある」と述べられました。

生命体は環境の変化に対応し何万年という時間をかけてゲノム（遺伝情報）が変わります。技術には10年、20年



シンセシオロジー：構成学の重要性はここに在る

図1 「巨大複雑系社会経済システムの創成力」世界をリードする高付加価値ものづくりの命題

の時間フレームですが、時間軸上でゲノムのように進化する資質があります。常に10年、20年のアドバンテージを保てるように科学と技術を革新し続けて、それを絶えず社会価値化していけば日本のものづくりはそんなに悲観的に考える必要はない。これがテクノゲノムのルーツです。

死の谷を越える技術開発における汎用的な方法論について

矢部 死の谷を越える技術開発において、日本の持っているものづくりの特徴を出すことが大事だと思いますが、どのような方法論があるでしょうか。それがシンセシスの一つの醍醐味という感じもしますが、いかがでしょうか。

柘植 死の谷を越えるためには、私はイノベーション牽引エンジンの再構築が一つの解になるのではないかと思います。

アメリカではかつてイノベーション牽引エンジンであった企業の中央研究所は10年以上前に崩壊し、今の牽引エンジンは、大学、大学を取り巻くベンチャー企業、それをサポートするベンチャーキャピタルです。教育と研究開発とイノベーションが三位一体となり種を生み出して育み、アーリーステージが終わった段階で大企業が投資してイノベーションを起こすというエンジン構造がアメリカでは根付いています。

一方、日本も企業の中央研究所は崩壊し、NTTなどの国研も民営化されて、中央研究所時代は終わっています。研究開発法人や企業の研究所、大学も頑張っているけれども、三つの研究組織の知の創造と結合機能が脆弱な状況にあり、教育と研究開発の連携も脆弱になっています。したがって、日本のイノベーション・パイプライン・ネットワークを強くすることが死の谷を越える汎用的な方法論になるだろうと考えます。イノベーションは、もし彼がいなかったら、あるいは、もしあの組織がこうしなかったらイノベーションは起きなかったというくらい、非線形であり、確率的です。ですから、汎用的な強化策としては、大学・研究開発法人・産業の三位一体的な連携強化が必要であり、教育・研究開発・イノベーションの三位一体推進構造の構築が必要です。教育も研究開発もイノベーションも、参加する人たちがUnder One Roofであることが大切ですし、こういう視点で日本型のイノベーション牽引エンジンの再構築をすべきだと思います。

矢部 大学、企業、研究開発法人の間のインターフェースの機能がまだ十分できていない、それをUnder One Roofで実現するのが必要条件であるという理解でよろしいでしょうか。

柘植 そうです。例えば大学から研究開発法人、あるいは研究開発法人から産業への価値のフローなりインターフェースも重視すべきです。平たく言えば論文にはならない

が、社会経済的価値創造への貢献としては大変な価値がある。この価値も学術的な価値があるのだということを学術界が納得すること、それがシンセシオロジーのミッションだと思います。それが不十分であるために、学生も研究者もそこに情熱を燃やすことがなかなかできません。

産業界は人事考課のときにその成果を認めているのです。彼はA事業とB研究所のあのニーズとシーズを結び合わせて、Xという新製品を生み出す原動力を作ったということ、企業では高く評価します。学術界もその価値を学術のテーブルで認め合うことがないと、産業と学術界との間の溝は埋まらないと思います。

成合 昔、産業界の人から「基礎研究成果を得る努力やお金を1とするならば、実際の機械などの製品にするには10倍の努力やお金が必要であり、それを売れる製品にするには、さらにその10倍の努力が必要である」と言われて、ものをつくるのは大変だなと納得したことを印象深く覚えています。これが死の谷だと思いますが、死の谷には、基礎研究成果を実際のものとして作り上げるまでの谷と、それを売れる製品にするまでの谷の二つありますが、それぞれ対象によって違いがあるような感じがします。第一の谷は、専門的知見をうまく組み合わせたり、統合したりするようなものですし、第二の谷は、社会的受容性に関わるものであろうということで、広い統合化が必要です。

先ほど柘植先生が、三位一体の連携、特に大学との連携が日本では脆弱だと言われましたが、昔は大学の研究は真理の探求を目的とし、その成果は広く一般に向けて公開されるべきと言われ、企業のための研究は限られた歴史がありました。この20年間、実際に役立つ研究重視と言われるようになったのですが、まだ省庁間の壁を含めたやりにくさがあります。こういう壁を破って、うまく連携ができれば良いと思います。

シンセシスのレベルを上げる有効な方法

矢部 壁をどうやって打ち破るか、あるいはどうやって連



矢部 彰氏

携を深めるかという論点になるかと思いますが、シンセシスのレベルを上げるために有効な方法にはどのようなものがあるでしょうか。

柘植 シンセシスのレベルを上げるためには、図2に示すように知の創造と社会経済的価値創造を結合するパイプラインが分断されている現状の大改革が必要だと思います。忘れてならないのは、教育、すなわち人材育成政策との一体化です。政府が融合場と拠点の提供や、府省間の垂直連携強化、イノベーション政策を進めるとき、そこに必ず教育政策を一体化すべきだと思いますし、そういう仕組みの構築が重要です。政府の目指す「強い経済、強い財政、強い社会保障の実現」、それは持続可能でないとはいけません。持続可能なイノベーション創出能力強化には、教育と研究開発とイノベーションの三位一体振興が不可欠です。この構造を持つイノベーション牽引エンジンを回せば、シンセシスのレベルも自然と上がってくると思います。

成合 レベルを上げる有効な方法として、私は「地域におけるヒューマンネットワークの活用」「会社の技術開発の伝統」「助け合う国民性」を挙げたいと思います。

例えば、地域におけるヒューマンネットワークの活用では、1980年代に国立研究機関や企業が集まり、筑波研究学園都市が概成されました。そこで伝熱や熱工学の研究者が集まって情報交換を主目的とする研究会を始めたのですが、学会報告書だけでなく『次世代技術と熱』という形で本を出版しました。基礎研究を進める人、課題解決型の研究を進め

る人など多様な研究者が集まり、研究会における議論から各自の研究レベルが上がったと思います。現在は情報化時代が進み、30年前とは異なる情報交換手段もあると思います。つくばの研究会では頻繁に見学会を行い、実際にものを見せてもらい、大変有益であったと思いますし、地域におけるヒューマンネットワークはシンセシスのレベル向上に活用できると思います。

矢部 つくばに大学、企業や国立研究所の人達が集まり、ニーズやシーズ、そして社会全体にどう見えるかを全員で議論した一つのUnder One Roofだと思うのですが、三者が集まったということが一つの大きな特徴だと思います。今、「つくばイノベーションアリーナ」をつくりつつありますが、研究組合がそのきっかけになっています。大学、企業、研究所が1か所に集まるのは、日本にとってはすごくいい方法ではないかと思っています。

柘植 まさにそうで、私の主張は大学院生がメインテーブルに座らなくても、先生が「夕方、おもしろい会があるから一緒に来い」と言って大学院生も参加する、これをもっと意識的にしたい。私自身の大学時代を振り返ってみますと、成合先生が博士課程におられて工学部で勉強会をされていたのですね。ああいう勉強会に行って、社会を支えているエネルギーを肌で感じることができました。

持続可能な社会をつくる上でシンセシスはどのように発揮されるか

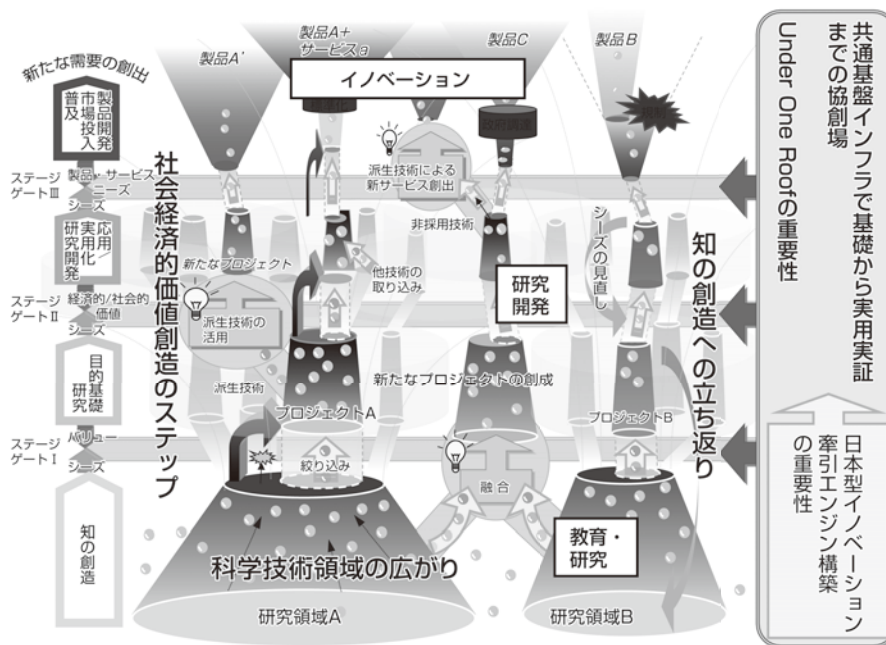


図2 教育・研究・イノベーションの三位一体推進が必要

矢部 シンセシスのレベルを上げるにはみんなが情報を交換し合い、知恵を出し合う制度としてつくっていくことが一つの有用な方法だというお話をいただきました。

さて、我々にとって「持続可能な社会をつくる」ことは非常に重要です。シンセシスの中に持続可能という目的指向をどのように入れていくか。それは個人のレベルなのか、組織のレベルなのかを含めて、いかがでしょうか。

柘植 持続可能な社会をつくりあげるための方法論で一番大事なことは、持続可能なイノベーション牽引エンジン構造をつくる、これに尽きるわけです。その中で一番重要なのは「人材の育成」です。図3に示すようにフロントランナー型イノベーション構造を担う育成すべき人材像は、大きく分けると4タイプあります。一つはタイプD型、Differentiator 科学技術を創造する人材。ひょっとしたらノーベル賞をとれるかもしれない人材です。タイプE型は、Enabler 技術創造人材。忘れられがちなのがイノベーション構造を本当に支えているタイプB型、Base という意味ですが、幅広い基礎技術と基盤技術・技能を有する人材。どちらかというと工学教育のかなりの部分はタイプB型の人材を育てる役目だと思います。さらに、私は今の科学技術教育政策で忘れられているのではないかと危惧しているのが、いわゆるタイプΣ型人材。イノベーション構造の縦・横統合により社会経済的価値創造を担う人材です。このΣ型人材は、まさにシンセシオロジーを支えている人材でもあり、持続可能な社会をつくりあげるために非常に大切だと思います。

成合 持続可能な社会をつくるということを、私は高度な科学技術を利用するこの社会が続いていくという観点で捉え

ています。私自身は原子力の安全に関わる研究や規制関係の仕事をしました。原子力プラントは基本的には米国を中心とする海外で開発が進められ、我が国はその導入とプラントの製造・建設、運転することをやってきました。研究者は、たとえ故障が起こっても住民や従事者の安全を守るための研究や検討を、一生懸命やったわけです。原子力プラントでは冷却水がなくなると発熱している燃料が溶融し、放射性物質が放出される心配があるということで、冷却配管が破断して冷却水がなくなっても非常用冷却水の注入により燃料溶融を防止するための大変複雑な現象の解析や実験を含めて研究しました。故内田秀雄先生はこのような研究を「原子力安全の開発」と言われましたが、目的を達成するために色々な知見を総動員して研究を行う、いわゆる目的指向型の研究開発のおかげで「安全の論理」と言われるほど抜けのない構成ができたわけですが、基本的な点はシンセシスということですね。

食品や医薬品分野でレギュラトリーサイエンスが提唱されていますが、リスク評価、リスク管理、リスクコミュニケーション全体にわたる研究であり、人文社会科学を含む関連科学が必要ということで、従来の基礎応用科学の範疇ではなく、目的指向型なものということです。原子力でも、リスク評価やリスクコミュニケーション、行政のあり方を含むリスク管理の問題が指摘されつつありますが、高度技術依存社会において社会的受容性を考えると、安全と安心を確保する方法論、科学が必要であり、これにはシンセシスの発想が重要だと考えます。

柘植 成合先生の目的指向的のものには人文社会科学も含めた視点が不可欠というお話は、設計科学、つまりあるべ

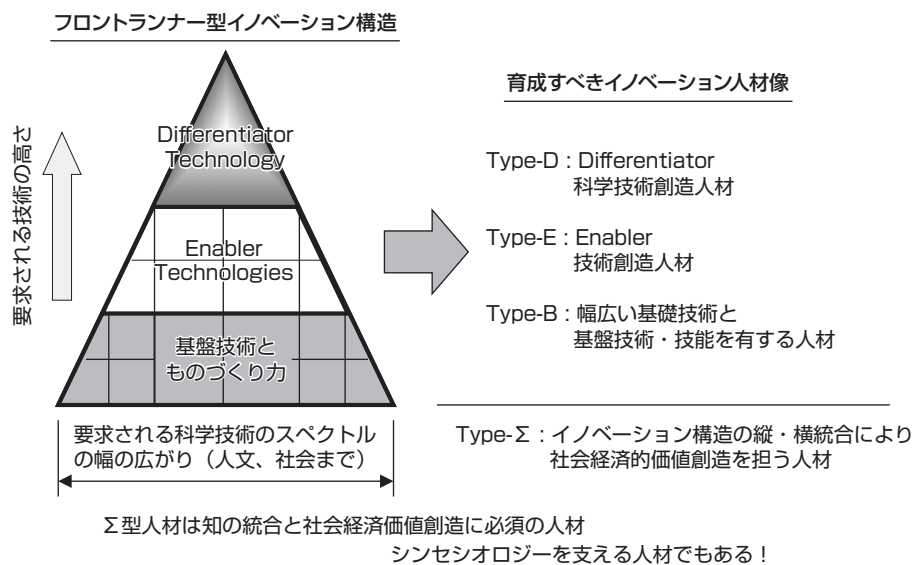


図3 持続可能な社会を作り上げるために必要な人材像

きものを追求する科学ということですね。私は持続可能な社会をつくりあげていくには設計科学をもっと意識すること、かつそれは認識科学があつての設計科学になりますので、この連携を可能とする俯瞰型人材育成プログラムを設置し、国はきちんとそれを支えるべきだと思います。日本学術会議が公表した「日本の展望-学術からの提言」でも同じ提言がされています。

矢部 設計科学の重要性と、そのシンセシスの部分をいかに社会に認めてもらうか。この分野は論文が書きにくいと思うのですが。

柘植 社会のために科学技術を実践するには、設計科学人材を育てないといけません。俯瞰力、シンセシス力、共創力を持つ人材の養成です。ですから、認識科学と設計科学では評価基準が違うのです。それぞれの評価基準を明確にし、「社会のための科学技術」の国民的理解を深めていく活動がベースだと思います。

技術イノベーションのためにシンセシスができること

矢部 私たちも設計科学の重要性を認識してもらいたいがために、“社会技術”という、社会との接点の技術という言い方もさせていただいています。技術イノベーション、まさにグリーンイノベーション、ライフイノベーションの創出というお話が柘植先生の最初のご議論にありましたが、シンセシスができること、またシンセシオロジーに期待されることはありますでしょうか。

柘植 シンセシオロジーは巨大複雑系社会経済システムの創出力、日本のものづくり力、フロントランナー型のイノベーションの創出力を支える基盤的な学問であり、同時に実学でもあると思います。シンセシオロジーには、学術としての評価基準を確立し、かつ現場で実学としての役割を果たしてほしい。

私は、設計科学、あるいはシンセシオロジーは学術的な意味付けができると思うのです。そこが学術としての評価基準という意味になりますし、例えばファンディングするときの基準も、設計科学の中で価値があるかないかということで議論できます。学術界の挑戦課題だと思います。

矢部 これを「シンセシオロジー」にあてはめて言えば、これまで産総研がシンセシオロジーとして発信したものを、設計科学の視点から見て大事な点をもっと整理してさらに発信していくことが必要だということですね。

成合 シンセシオロジーを拝見して、産総研は役立つ研究

を随分進めていると思いました。社会ニーズを把握するという場合、グローバル化した今後の社会、発展途上国を含めて、世界を考えるという視点が重要になってきます。各国で競い合い、優れた技術が勝つことになるわけですが、それに備えるには、日本のこれまでのシステムの改革、場合によっては国民の意識改革が必要となるでしょう。

シンセシオロジーへの期待ですが、第2種基礎研究や本格研究は初めて聞く言葉でしたが、技術開発におけるこのような問題意識は漠然と持っていたので大変関心を持って毎回読んでおります。今日の高度な技術社会において重要な方法論を提案しておられますし、これが産総研の研究範囲だけでなく、広い分野に広がることを期待したいし、研究者が実用的な研究を広く深く考えることは、柘植先生のおっしゃった人材育成になります。特に討論は大変貴重で参考になります。これを継承していく編集者が育つことによって、真の意味での日本におけるプログラムマネージャーや研究コーディネータの育成にうまくつなげていただければと期待します。

矢部 シンセシスからいかに日本の特徴を出し、世界を引っ張っていく方向性まで出せるか、これもまさにシンセシオロジーの役割だと思います。今までシンセシオロジーとして発信していたものを体系化し、設計科学の観点からまとめ直し、その重要性を発信することで、世界をまさにリードしていきたいし、それが日本の将来にとっても大事だと思います。きょうは本当にありがとうございました。

本座談会は、2010年9月6日、東京都千代田区にある産総研秋葉原事業所において行われました。

略歴

成合 英樹 (なりあい ひでき)

1938年東京生まれ。1962年東京大学工学部機械工科学卒業。1967年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、工学博士。同年4月運輸省船舶技術研究所入所、研究員を経て主任研究官。1980年4月筑波大学構造工学系助教授。1987年11月教授。2002年3月定年退職、名誉教授。2002年～2003年日本原子力学会会長。2003年10月独立行政法人原子力安全基盤機構理事長。2009年3月理事長退任、同年4月特別顧問、2010年3月特別顧問退任。日本学術会議連携会員。専門分野は熱工学、原子力安全工学。

柘植 綾夫 (つげ あやお)

1943年東京生まれ。1967年東京大学工学部卒、1973年同博士課程修了、工学博士。1987年Harvard Business School AMP101修了。1969年三菱重工業(株)入社、原子力発電の研究開発に従事。原子力研究推進室長、高砂研究所長を経て同社取締役技術本部長、代表取締役・常務取締役技術本部長。2005年1月内閣府総合科学技術会議常勤議員、2007年1月三菱重工業(株)特別顧問、2007年12月芝浦工業大学学長。日本学術会議会員、日本工学アカデミー副会長。