

科学博物館を基点にした人工物ネットワークの概念設計

—人工物の科学の構築に向けての試論—

岩田修一^{1,2}・菅原 玲¹・陳 迎^{3,4}・新谷聖法²・

Pierre VILLARS⁵・鈴木一義¹・石井 格¹

¹国立科学博物館理工学研究部 〒169-0073 東京都新宿区百人町3-23-1

²東京大学大学院新領域創成科学研究科 〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5 環境棟

³東京大学工学部システム創成学科 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

⁴東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01

⁵Materials Phases Data System (MPDS), Postal Box 125, CH-6354 Vitznau, Switzerland

Conceptual Design on Artifact Networks based on Science Museum Collections

—An Approach towards evolving Artifactual Science—

Shuichi Iwata^{1,2}, Akira Sugawara¹, Ying Chen^{3,4}, Kiyonori Aratani²,
Pierre Villars⁵, Kazuyoshi Suzuki¹ and Itaru Ishii¹

¹Department of Science and Engineering, National Museum of Nature and Science,
3-23-1 Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan

²Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo,
E222, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-city, Chiba 277-8561, Japan

³Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

⁴Department of Nanomechanics, Graduate School of Engineering, Tohoku University,
6-6-01 Aoba, Aramaki, Aoba-ku Sendai, 980-8579, Japan

⁵Materials Phases Data System (MPDS),
Postal Box 125, CH-6354 Vitznau, Switzerland

Abstract An evolving procedure to articulate academic agenda on artifacts, namely, collections of human-made products is proposed. In addition to established and advanced methods in biology, which consists of traditional taxonomy and recent bioinformatics as genomics, proteomics and so on, systematic approaches as represented by data science are discussed so as to describe engineering semantics as key nodes to link wide variety of data and models on engineering products. Challenges through artifactual science are trials to go into artifacts for exploring commons of designing innovative/dynamic networks of artifacts beyond a simple collection of artifacts.

Key words: artifactual science, artifact networks, science museum, data science, science map

1. 概念設計の目的

人工物のコレクションを通して人工物群の相関を明らかにし、「技術とは何か」、「人間とは何か」を理解し、人工物群と社会との新たな関係を設計できないか。この大きな課題への挑戦に向かって、

モノを基軸にした物質・材料分野での挑戦事例を参考にしながら、コトを基軸にした人工物の科学の構築のための方策を検討する。

人間は考え、手を使い、様々な人工物をつく（作、創、造）ってきた。つくった人工物は、製品として流通し、利用され、廃棄される。博物館

は、人工物のそうしたライフサイクルの一断面をコレクションとして収集し、歴史的観点から分節化し、評価・選択し、整備・展示して、社会へのメッセージの発信を試みる。人工物のコレクションは、産業遺産あるいは都市のような大きなモノ・コトからマイクロマシンやナノ製品のような小さなモノ・コトまで含み、規模、数量、用途、価値、社会的背景も異なる。膨大な人工物のコレクションの一部は所在目録やデータベースとしてアーカイブされ、特定的人工物については詳細な解説が試みられる。しかしながら人工物のコレクション全体を関係付け歴史的に分節化することは容易ではない。

科学技術が、実験科学、理論科学、計算科学を経て、新たな第4のパラダイムとしてデータ科学(Data-intensive Science, Data-centric Science)¹⁾を考え、専門性のカベを壊し、科学技術の成果と社会とを直接的に結びつけようとしている。“現物”を収蔵する博物館への期待は大きい。それでは、博物館でしかできないことは何なのか。今、何をしなければならないか、そして何ができるのか。それぞれの人工物は「誰のために」、「何のために」、つくられたのか。将来「何を」つく(作, 創, 造)ったらよいのか。クライアントとしては「誰を」考えたら良いのか。そのような分節化を通して科学・技術・社会の成果として人工物のコレクションを俯瞰し、人工物群と社会との適切な関係をエンジニアリングするための人工物の科学への道程を検討する。

2. 人工物群の展示の現状

2.1 展示物の役割

現物の含意は極めて大きい。展示物となった人工物は社会の歴史から剥ぎ取られた現物である。そこには、広大な歴史的、文化的、技術的、経済的、社会的、科学的な背景：バックヤードの存在がある。そしてバックヤードには精粗の違いはあるものの断片的な多数の資料が準備される。過去の記録に随伴する断片性の克服のためには様々な博物館、展示館ネットワークが構築されているが、収蔵された現物と関連資料を基に人工物群全体を上記の多面的な視点から俯瞰的に眺め、体系的に関係付けるための適切な方法は提示されていない。さらには将来に備えて、試行錯誤を通して次々に創出される多様な人工物群を包括的に取り込み、

現物である展示物を介して新たな学術や産業の展望を拓くためのプラットフォームとして博物館、展示館ネットワークを考えることも重要である。すなわち人工物の場合には、時代を超えて展示物を考えるためのダイナミックな枠組みが必要なのである。

非有機系の物質群に関しては、錬金術、鉱山学、冶金学、地質学、鉱物学、岩石学に始まり、ドミトリ・メンデレーエフによる元素の周期律表、ヴィクトール・モーリッツ・ゴルトシュミットやライナス・ポーリングによる鉱物や化合物の体系化を介して、近年の多様な展開をみせる凝縮系の物質科学や材料工学、材料設計学への展開がある。コレクションから科学へ、そして科学から設計への展開である。

自然史関係では、生命種の内容、記録に関しては、東洋においては例えば明の李時珍に代表される本草学の伝統があり、日本では江戸時代に、その書「本草綱目」が輸入され、その影響を受けて一連の本草学研究が発展し、そうした伝統は牧野富太郎、南方熊楠とつながる^{2),3)}。西欧においてはギリシャの昔からの博物学の歴史があり、カール・フォン・リンネに始まる分類学、そして近年のゲノムデータベース、機能ゲノム科学の展開により生命の多様な様相が明らかになりつつある。それらは分類や生物多様性に関するグローバルなデータ活動^{4),5)}とリンクして、学術活動の厚みを増す。

自然物の経験的な知識の集積であった漢方に関する膨大なデータは中国科学院の努力で最近データベース化され、バイオインフォマテックスやデジタルヒューマンといった分野でのデジタル情報を介して本格的な西洋医学や生物科学の視点との関係付けが始まっている⁶⁾。また生物、地学、天文、気候などの場所や時間への依存性が高いデータを地球全域にわたってシームレスにつなげる事も一般的になりつつある⁷⁾。分野別に激しく展開する成果は、データベース、計算手法、知識ベースとして、逐次、電子化される。コレクションから科学への展開が情報通信技術を触媒に本格的に今までにないスピードで進められているのである。そこでは自然物とはいっても漢方のデータベースに象徴的に表れているように、それぞれの展開の背景には知的財産権、情報サービス、情報ビジネスなどについての厳しい競争、社会との相関が顕在化している。

以上の人工物と自然物に関する複数の視点を基に人類の知的営為のキャリアとして膨大な数の人工物群を位置付け、以下人工物群を代表する部分集合として展示物の有効活用を考えてみる。人工物と自然物との体系化手法の大きな違いは、それぞれの場面で様々な価値観が導入されることであり、人工物そのものの属性とともに社会的背景や人間の特性の理解、配慮と適切な記述とが必要となる。すなわち相異なる視点をリンクするためのノードとしての大きな役割が展示物にはあり、そのリンクは複数の人工物群の相関へと発展する。

2.2 人工物の記録の多面性とメタデータ

人工物／技術と科学との時間的な順序関係は、多くの場合、技術が先行し科学的な説明が後から確立する。古代中国の方位磁石（写真1）と磁性理論の確立、蒸気エンジンと熱力学の確立、高強度材料の製造（写真2）と材料強度理論などの例を想起すれば理解できるように、理論やモデルによる予測が新たな人工物の創出に活用される事例が散見されるようになったのは、ようやく20世紀後半になってからのことである⁸⁾。

写真2の舞台となったユネスコの世界遺産『鉄の橋』⁹⁾は、産業革命、水上交通、冶金学、材料工学、環境問題、資源問題、ランドスケープデザイン他の視点と争点を含意する人工物である。ドイツの重化学工業の中心であったルール地方のエムシャー川の流域一帯の再整備プロジェクトや北九州地域の環境再生の歴史とも関係し、また同じくユネスコの世界遺産である石見銀山とも共通の特徴を有する。つまり人工物や人の活動が展開した地域の保存においては、歴史学、地理学、社会学と技術とが相互に裨益しあう。英国、ドイツ、北九州、石見銀山のそれぞれに、地域、人、風土、歴史、文化によって異なる展開があり、また科学技術としての普遍性や地域が共有する場としてのランドスケープが存在する。

人工物の保存原則、基準と方法論については、アーカイブズ・ミュージアム・ライブラリィに関係する国際機関や博物館、展示館の現場、ユネスコの世界遺産プロジェクト等の場で多面的な議論が積み重ねられ、記録保管に必要な幾つかの基準も整備されている¹⁰⁻¹³⁾。

そうした建築アーカイブや世界遺産の例を、人工物一般の記録に敷衍すれば、人工物に関する記録は、市場（あるいは社会）動向から発議、計画、構想、要求仕様、研究開発、設計、構造、機



写真1. 古代中国の方位磁石。中国鉄鋼研究所が、現代の冶金的な知見を基に古代の原料の純度、製造法等を推測し、再現したレプリカ



写真2. 『鉄の橋』（コールブルックデール）で使用した素材と同等の練鉄。エイブラハム・ダービー卿の高炉模型で製造された鉄塊を鍛錬によりスラグ成分を絞り出して作成した練鉄。溶製や加工履歴を反映してインクルージョンを含み、方向性のある複合材料としての特性が付与され、構造要素として活用された

構、規格・標準設定、素材／部品調達、生産、保全、安全性・経済性・環境調和性評価、リサイクル、リユース、廃棄処理、アーカイビングにいたるライフサイクル全体に関係し、組織あるいは個人により作成される。人工物のコレクションは人々の活動の反映であり、人工物のネットワークは、人々のネットワーク（社会）の反映であるとともに、人々の意図や叡智のネットワークでもあ

る。そして人工物の価値についての多面的理解に基づいて、これらのネットワークの特性、つくり方について理解し、説明することが要請される。

記録を適切な方法で保管し検索するためには、記録の真正性と信頼性、すなわち情報の品質維持の方策を講じる事が大切で、学術的には確立された諸学問体系のネットワークを活用した検証¹⁴⁾や類似性の高い情報との比較・俯瞰¹⁵⁾を通して達成される。現物や原体験サービスという博物館の機能は、それぞれの場が生成する現物と現実の意味があり、その意味で物理的保存、実現が要であり、その維持には多大な経費がかかる。経費に見合う価値の創出が必要で、そのためには現物を中身のある濃い情報のキャリアとして展示品を最大限に活用することが大切である。現物の“バックヤード”にある膨大な情報へのダイナミックなリンクが不可欠で、関連コンテンツのデジタル化やメタデータ記述、マークアップ言語の活用的重要性はとりわけ高い。

“バックヤード”との関係が直接的な建築アーカイブズについてはICA・ICOM・IFLA等による国際的な活動を通してメタデータの検討が進んでいる。例えばICOM-CIDOC (International Guideline for Museum Object Information)、書誌データにはDublin Core Metadata¹⁶⁾があり、博物館が保有している対象物の識別、格納されている場所の記録、対象物の状態情報の記録、所有権証拠の確保、対象物の制作、収集、所有権、利用の情報の保全、対象物の履歴記録等々に関するガイドラインや資料情報構造化モデルが定められている^{17,18)}。人工物一般に関しては、建築アーカイブの視点に加え

て諸科学との相関を記述するためのメタデータが必要となる。

2.3 評価と選定：モノとコトの相補性

情報化の進んでいる生命種に関してはゲノムデータベースを介しての相関関係を示すマップが提示され、分類基準の定期的な保全(図1)も実施されている¹⁹⁾。生命種の場合は、遺伝工学による人工的な種も新たに導入されつつあるがデータは基本的に与件である。しかしながら人工物の記述は、モノとしての記述と設計、保全、後処理などのコトに関する記述を明示的に含む必要がある。多種多様な人工物を多面的に理解するためには、全体像をデジタル処理で複数の視点から関係付け、見通しよく俯瞰する必要がある。

生命種と違って人工物の多様化は人間が介入して自在に展開する。このためデジタル処理が可能なレベルにまで、それぞれの人工物を適切かつ明示的な文脈で評価し、多様な展開の基点となる人工物の選定法を設定することが重要である。そうした準備があれば、石器、遺跡、芸術作品、武器、民芸品、そして産業革命以降の膨大な工業製品の流通という歴史を進化の文脈と考え、生物種の系統樹にならって分類ツールを使い、それぞれの人工物に付随するモノ、エネルギー、価値、情報、ヒト他の流れ、すなわちコトの分岐点に対応する人工物：モノを選定し、人工物群を系統的に整理することは可能である。予備的な検討の結果は、別掲の関連論文(ページ63-80)で報告した。

大規模な建物や安全上あるいは経済的な理由で、保存できない人工物も少なくないので、図面

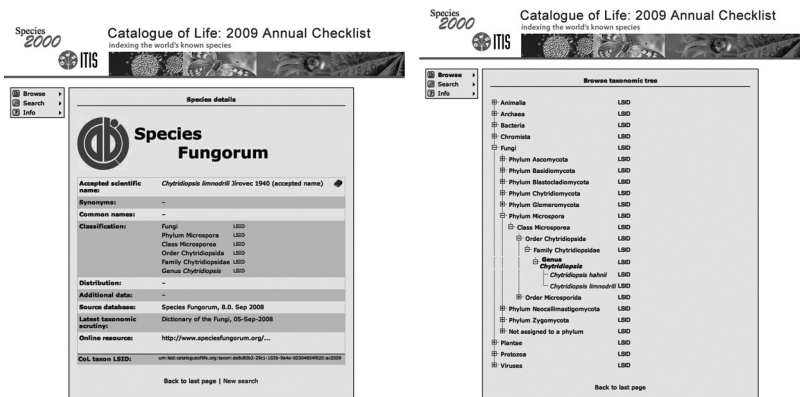


図1. Species 2000の活動例

の保存、修復履歴などの記録の保存だけでなく、現物の大規模なデジタル化によるヴァーチャルな保存も増えてきており、巨大で断片的であいまいな相互運用が容易でないデータが急速に蓄積されている。STEP/CALSで試みられたように、人工物に関する自己説明性のあるプロダクトモデルの構築と、モデル間で少なくとも相互に変換可能な標準が必要である。上記の方位磁石や錬鉄の例は、それぞれの人工物のバックヤードに中国鉄鋼研究所やHistorical Metallurgy Societyの存在があり、モノ（現物）を超えてコト（製造プロセス）を学術的に再生し、モノの本質へと踏み込んだ例で、モノとコトの相補性を活用した人工物の体系化として博物館の新たな方向性を提示している。

3. 人工物のコレクションから 共創の科学への準備

3.1 人工物の科学の枠組と展開

人工物の科学においては、社会的価値を排除して「価値自由」、「価値独立」という言明を試みるのではなく、社会的価値という視点をも明示的に組み込み、外部社会に、さらには未来に開かれた学術活動と定義することが適切である。つまり、人工物の科学のクライアントは、特定の人工物の好事家だけでなく、それぞれの専門性や職業、地位も異なる現代人一般であり、新たな人工物の創出や流通に参加する次世代である。つまり科学博物館の伝統的な活動である展示、実演を超えて、過去について学び、人工物群の相関を俯瞰し、将来について一緒に設計するという共創の場として科学博物館を考えてもよい時期である。

また、人工物の科学の直接的かつ実務的な応用分野としては、安全基準、計測標準、コミュニケーション標準があり、地球規模で考えるならば世界の安全や地球環境に関する国際的合意の基礎、基盤を与える“Regulatory Science”とでも呼称すべき分野がある。そこには技術間あるいは社会と技術との調和のあるインターフェイスの設計、開発という役割がある。また人工物の科学が地球圏全体の富を次世代も含めて社会全体に配分するための基礎を与えるとすれば、産業構造、サステナビリティ、競争と格差等々を適正に配慮した行動規範、行動計画の策定にも資することになる。国立科学博物館においては、環境に関する歴史的な指標として、自然史関連の現物が豊富に展

示されており、人工物のあり方を相補的かつホリステックに考えるためには極めて適切な場所である。

3.2 人工物の多様性と総合

人工物の多様性の圧縮／抽象化は、モノに関する関連情報へのリンクとコトに関わる人工物を設計するという行為を体系化する事によって実現する。モノである展示物は、コトとしての人工物のライフサイクル全体に関わる設計行為を駆動し、再利用・廃棄へと展開するためのエントリー、インデックスとなる。以下の言明に示されているように、人工物に関する知見の本質はモノ、コト、ヒトの調整と総合にある。設計行為の体系化では、このヒトに関する特性、含意を具体的に記述することが不可欠であり、それは人工物の科学の目標でもある。

豊田佐吉：「発明私記」（抜粋）“人間タルベキモノヲ為スベキ事ヲ、百万考慮シタリ。”²⁰⁾

“My program is unique in the military service in this respect: You know the expression ‘from the womb to the tomb’; my organization is responsible for initiating the idea for a project; for doing the research, and the development; designing and building the equipment that goes into the ships; for the operations of the ship; for the selection of the officers and men who man the ship; for their education and training. In short, I am responsible for the ship throughout its life—from the very beginning to the very end.” By Hyman G. Rickover (Hearings on Military Posture and H.R. 12564, U.S. G.P.O., 1974, page 1,392)²¹⁾

上記の言明の含意は、多数の実現可能な設計解の中から一つの設計解に至る設計過程にある高度に知的なプロセスの存在である。最終的な設計解となった展示物を通して、その解に至る設計過程を追体験することができること、そして最新の科学技術の成果を加え、新たな社会的／文化的な要請を先取りして既往の設計解を超えることができれば、博物館の展示が将来の人工物の豊かな多様性を拓くことにもなる。

社会との不断のインタラクションを通して進化する環境・エネルギー・経済関連のイシューは、原子炉、鉄道、航空機、自動車、コンピュータのような現代社会を支える基幹となる人工物によつ

て支えられ、それらは全分野の専門家の関与を必要とする。伝統的な技術だけで設計解が得られそうな風力利用のような自然エネルギーを利用するためのシステムにおいても、エネルギー密度が低く、その発生も安定していない条件下での電力の安定供給を達成するためには、エネルギーの蓄積、制御や送電網、保全の高度化、環境調和型の潤滑油の選択、低周波の騒音の健康への影響の評価など新たな課題の克服が要請され、多数の専門家集団の協力が必要となる。どのような人工物のエンジニアリングにおいても、社会との関連を適切に考慮する必要があり、設計から廃棄に至る全ライフサイクルを考えなければならない時代である。個人の先鋭的な知だけでなく、集団としての知のダイナミックスの活性化が必要となる。

では、展示物を如何にして知のダイナミックスにリンクさせたら良いであろうか。そこでは、複雑に分岐、進化した先端的学問分野群を社会と関係付けるための学問的基礎としてのデータ科学が必要である。そのプラットフォームとしてデータベース、特定の対象の計測値やデータ群の説明・解釈を与えるモデルも必要である。また、標準を社会と学問分野のインターフェイスとして考え、集団の知が創出する知的基盤の要として利用することも考えられる。ここでは集団の知の特性の理解と管理技術が重要である。

展示物のバックヤードには、分野別の科学者の共同体によって形成された知的基盤/科学的知識があり、法則、モデル、原理、公式、仮説、解釈などが複雑なネットワークとして関係付けられている。多面的な視点のネットワーク化に情報の多様性と結晶化をもたますが、後者の代表例としてはCODATA (Committee on Data for Science and Technology)²²⁾での物理定数のTask Groupの活動があり、知のネットワークとしての緻密さがデータの信頼性、精度に反映する。物理定数と同様な活動は、複数の科学分野で展開しつつあり、多様なデータ、モデル、解釈を、それぞれの分野の特徴、使用目的に合わせて適切に処理し、品質を高めるための専門家集団のネットワークと技術的基盤は確立しつつある。

原子力分野は総合という視点で新たな挑戦の場として登場している。グローバル化した環境の時代におけますますますホットなイシューとなりつつあり、そこでは知的基盤の構築におけるすべての分野、すなわち原子核レベルから環境、資源、

エネルギー、経済、政治のレベルまで広汎な課題と関わりがある。そこでは不要な「専門性のカベ」を超えての学問分野としての総合だけでなく、ステークホルダー間のカベを超えて新たな設計解を創出するためのインターフェイスの開発が要請される。

3.3 人工物の分解、組立と俯瞰

物質・材料の分野では、前述したように要素還元論的な部品展開、構造特性相関、多元情報の俯瞰、設計のためのモデリング等々に関する研究活動が盛んである。このため専門家集団の叡智の情報源を文献にも求め、文献集合から帰納的に導出した(1)品質管理総合フィルター、(2)特性相関フィルターを活用し、データの品質を組織的に向上させるデータ管理プロセスを準備し、さらに一般的な多変量解析や第一原理、経験式などを併用して“バックヤード”を支える学術的データの品質を高めることができる。こうした準備があれば、展示物を俯瞰図(マップ)の中に位置付けることが可能である。事例を図2に示す。複雑な系に関する孤立したデータ点の絶対値を評価することは容易でないため、複雑な系の評価では同じ階層、粒度のデータを集めて、様々な視点から評価することになるが、この例ではデータの徹底的な品質管理と適切な階層化を実現することにより、全体像の俯瞰と意味(Semantics)の明示的な表現を可能にしている。写真1や写真2で示した人工物を、詳細に分析、部品展開すれば図2に例示する俯瞰図を構成する点の集合に対応付けられる。

この図に表示されたデータは、約20万件の論文から2元系物質の結晶構造因子：結合次数を抽出し、各元素の特性からの演算結果でソートしたもので、構造-特性相関の存在を明示している。高品質のデータの準備に成功すれば、マップの効用が自ずと発現する。こうしたマップに特性記述モデルを関係付けると設計が可能になる。すなわち設計行為の体系化、さらには設計行為の追体験が可能になる。

図3の右図は物質世界全体を俯瞰するためのマップの活用事例で、2元の構成元素と結晶構造が対応している。左図は結晶構造と特性の相関、選択した構造の安定性評価計算の結果を示したものである。この2枚の図に示された関数関係、即ち特性から候補となる材料の結晶構造、結晶構造相互の位置関係、結晶構造の安定性評価を活用すると、必要な特性を発揮する材料を探索すること

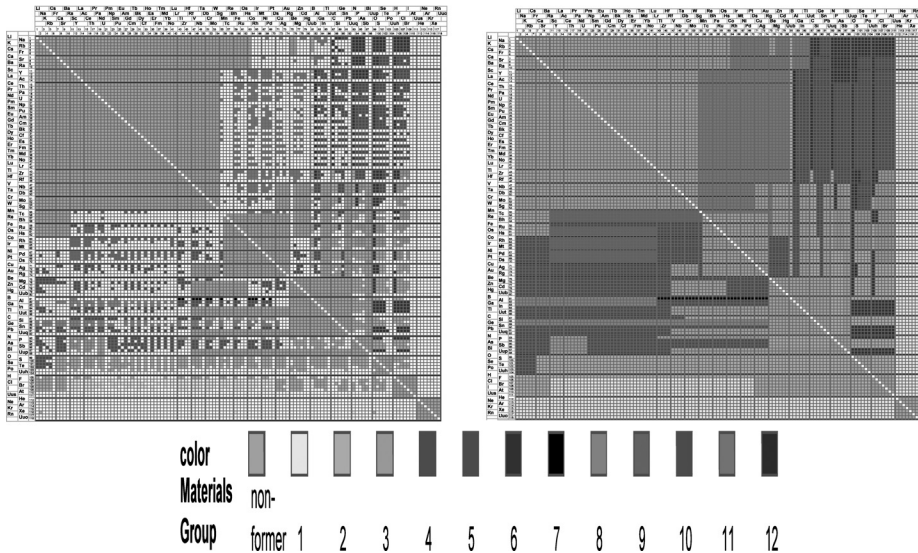
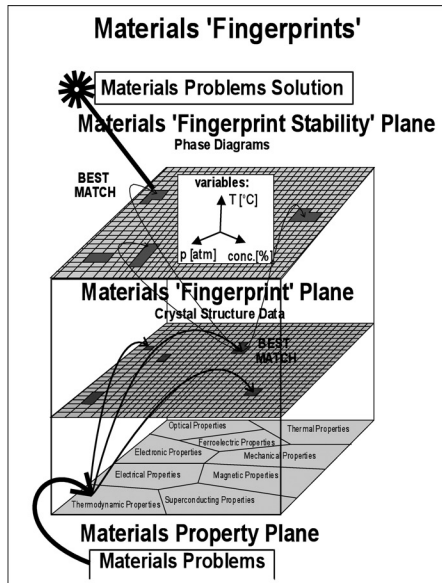
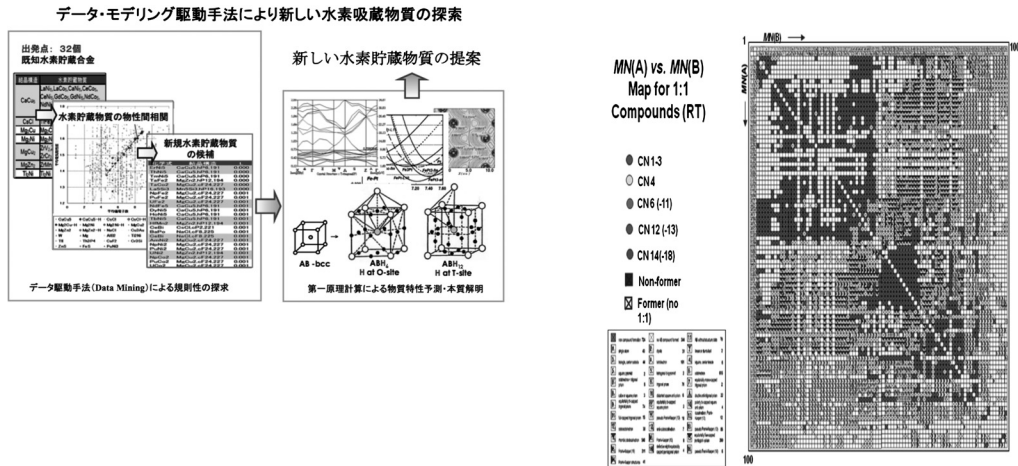


図2. 物質材料の俯瞰図の例 (P. Villars による). 写真1, 写真2は部品展開され, 学術分野の俯瞰図の点の集合に対応付けられる

ができる。既往のモデルがあり特性や構造に関数関係が与えられている場合は、データ群とモデルとの等価性が評価され、データが充実していればモデルが存在しない場合でもマップを活用しての内挿あるいは設計（逆問題アプローチ）は可能である。

では、人工物のネットワークの形成過程を俯瞰

するためには何ができるのか。以下に、人工物のコレクションのネットワーク化、体系化作業を通して人工物の科学の確立に向けた道程を検討してみる。価値依存性である技術は、社会という時代、場、人々のネットワークにおける人と自然との相互作用の中で進化発展する。人工物のコレクションは、そうした相互作用の軌跡と結果の連鎖



であり、その連鎖には人々の欲求に起因した経済的、軍事的、社会的、政治的事情、一言で取って表現すれば社会環境が反映する。従って、個々の人工物には、それがつくられた場の記述、すなわち、歴史、文化、資源、産業等々の文脈の説明があり、さらに普遍性のある技術や科学的な視点、解釈が付加されて人工物群についての巨大なアーカイブが形成される。この意味で、人工物は人間の特性を反映した“生き物”であり、そのコレクションは博物館展示品/收藏品、文化遺産、産業遺産、骨董品として保存管理され、そのリストは巨大なエンサイクロペディア、日録、カタログとして、最近では各種データベース、WebページやWikiペディアとして人工物群全体の記録が拡充されつつある。そしてそうした人工物に関する巨大な情報のコレクションには、既に膨大な断片の情報が付随し、場合によっては新たな情報が追記される。博物館の展示物は、そうした膨大な人工物群のほんの一部の記念物であったり、“絶滅種”の化石であり、来館者は“断片”や“化石”から人工物に関わった人々の濃厚な知的かつ創造的な活動を想像する。博物館の一つの重要な使命は、来館者が豊かな想像ができるよう必要十分の高品質の情報を展示物に埋め込むことである。

繰り返しになるが、以上の文脈から、博物館ネットワークでの個々の展示物の役割は、展示物のバックヤードに展開する豊かな“知の森”へのエントリーでしかない。個々の展示物の説明は、

“知の森”の中に入って行くための適切な入門でなければならない。上述したように、人工物には、企画・設計から、再利用・廃棄あるいはアーカイブとしての展示に至るライフサイクルがあり、展示物を通してそのライフサイクルが追体験し評価できることが人工物のバックヤード探索への第一歩となる。一般的に、そうした探索には基本的な“座標系”の基に描かれた俯瞰図（マップ）が有効である。例えば、ジョン・M. ザイマンは、学術分野のマップの要件、効用を次のように指摘している。(1) マップは、描くことができる客観的世界の存在であること、(2) それぞれのマップがネットワーク的に関連していること、マップは細部において正確でなければならないと同時に、様々なマップは相互に整合的であること、そして(3) マップは生活の案内役となる、生活者はマップを頼りに誤りのない行動を起こすことができること、(4) マップには新しい発見が加わるのみならず、時に表現方法や視点の変革もなされること²³⁾。以下、物質材料の例にならって、展示物と博物館の新たな製品としてのマップを活用して人工物のライフサイクルを追体験し、新たな人工物探索、すなわち人工物の設計の可能性について検討してみる。

3.4 人工物の設計

設計は、不十分な情報の補完と確認の作業である。解空間の探索は、価値、機能、特性、構造、製造や後処理プロセス等を考慮した極めて複雑な

求解プロセスとなる。設計解の求解プロセスは、(1) 設計基準との照合など古典的な論理（ブール代数）によって処理可能な設計手順、(2) 最適化問題として取り扱う場合、(3) 発明発見物語として興味深いセレンディビティ、(4) その他とから構成される。吉川による研究²⁴⁾を基点として、“その他”の知的求解プロセスに関しては、設計の数学、非古典論理、逆問題、非線形モデル、類推、アブダクション、共創等々の視点で継続的に研究が展開している。

学術としては、そうした設計論の基礎分野の研究があるが、設計の現場では、多くの場合、設計過程の追体験、すなわち既存の設計の再設計から開始する。設計仕様書、CADデータ、製造関係の技術資料、特許、許認可申請書、技術基準等を含む設計データベース、基礎理論、設計計算コード、過去のクレームデータ等々、技術者は利用可能な科学的データと解釈、知識、技術的経験のすべてを使って人工物を設計し、製作する。技術者が与えられた要求を満たす最適な人工物を提供するためには、多くの場合、情報は不十分である。そのため技術者は、系統的なシミュレーションによる解析をし、モックアップ試験をし、不確実性には安全余裕をとり、さらには試作品を介して利用者のニーズ、嗜好を理解し、設計仕様を具体化し、最終的には市場での評価を経て可否の判断を下す。設計研究には、この設計プロセスのログをとり、関連情報や背景知識を付加して設計のダイナミックなプロセスをデジタル化する試みもある。また設計事例やトラブルごとに徹底的に要素分解して、モジュール化した先鋭的な知識のコ

レクションと合わせて整備する体系化手法もある。多分野のフレッシュな専門家からなる作業チームを編成して、それぞれの問題設定に応じた作業が実施される。技術力のある会社のデータベースは、そうした作業の重要性を理解して、製品毎に製品仕様や標準の記述だけでなく、製品に関連する全てのサイエンスの基礎から製品が市場に出るからのクレームまでまとめてあり、新たな製品開発などに備えて必要な情報が迅速に再利用可能な状態で整備されている。また、そうした整備の積み重ねが、新たな製品を開発する時に極めて有効であることが報告されている。図4はガラス固化に関する体系化のイメージの例であるが、普遍性が高く、情報の半減期が長い基礎情報と特化された個別の技術課題とが、適宜、相関がとれるようにリンクを張っておく事が完成度の高いエンジニアリングの実現に有効である。

展示物の関連バックヤード情報へのリンクは、人工物の設計過程における参照情報や試行錯誤の記述として準備されるのが適当である。上述のジョン・M・ザイマンの定義を拡張すれば「(1) 展示物を客観的世界の存在としてマップに描き、(2) 展示物のバックヤードとなる学術情報全体の多様なマップをネットワーク的に関連させ、個々の展示物に対応するマップは細部において正確でなければならないと同時に、他の展示物や属性に関連する複数のマップは相互に整合的であること、(3) マップは展示物からの再設計/新設計の案内役となる。設計者はマップを頼りに誤りのない、あるいはリスクを認識した果敢な行動を起こすことが出来ること、(4) マップには新しい設計への発

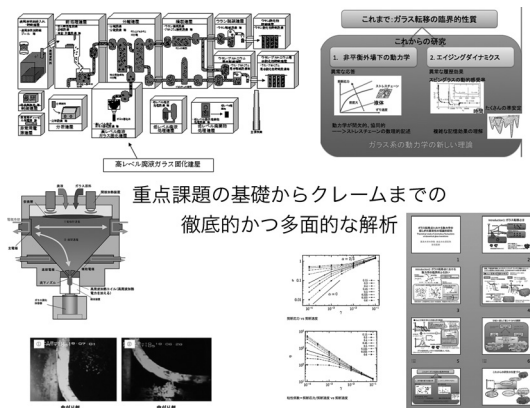


図4. 人工物の設計過程のスナップショット

見が加わるのみならず、時に表現方法や視点の変革もなされる。」となる。しかしながら俯瞰図(マップ)を描くための基本的な「座標系」を決めることは容易ではない。

自動車のような人工物の場合には、標準的な部品の大量生産と分解と組立を基本操作として、効率的な生産システムが数百年の試行錯誤を経て確立している。しかしながら、原子力のような一品生産的な大規模人工物のデザインでは、資源・エネルギー・経済・セキュリティ・安全との関係もあり、国際レベル、国レベル、地域レベルでのデザインが実施され、製品としてのプラントは多様である。また、燃料棒や配管、計測機器のような大量生産される部品から、压力容器のような一品生産まで部品の種類も多様で、システムとしても巨大である。使用環境も照射という特殊な環境を含み、使用条件も異なり、経年変化も適切に評価する必要があり、現物であるプラント毎に適切な安全評価をすることが必要である。人工物のエンジニアリング一般の場合の「部品」、「分解」、「組立性」、「公差」、「メカニズム」、「材料」に担当する概念や基準がある程度準備されているが、安全基準のような高度知識体系の構築にあたっては、現物に合わせた合理的な評価を基本にすることが大切である。現状では、それぞれの“知的部品”の効率的な「生産設備」が準備されてはおらず、安全基準の策定、適用にあたっては、依然として産業革命以前の手工業的な作業が中心になっていて、ますます高度化する人工物に対応した論理的な完全性のある知識のエンジニアリングは確立していない。このメタな分野の現状は“T-Ford”以前のエンジニアリングの状況であるため、パッチワーク的な知識の集合体を最初は“手作業”で基本/基礎/基盤を確かめながら新たな体系の構築へと再編することから始めなければならない。

人工物一般を対象にした場合には困難を極めるが、上記の物質材料の体系化で検証した手法を適用することが有効であろう。全体の手順としては、既往の知見をデータ、知識、プログラム・手続きに要素分解する作業と、知識要素の正当性の認証、評価方法、要素間の不具合、差異、隙間の処理方法の構築とがあり、特に後者については周知な理論構築と方法論の徹底的な検討と実装を実施することが要請される。机上の空論にならないようデータ生産の現場と直結した「データに語らせる」知的基盤の確立が要件となる。科学的知識や

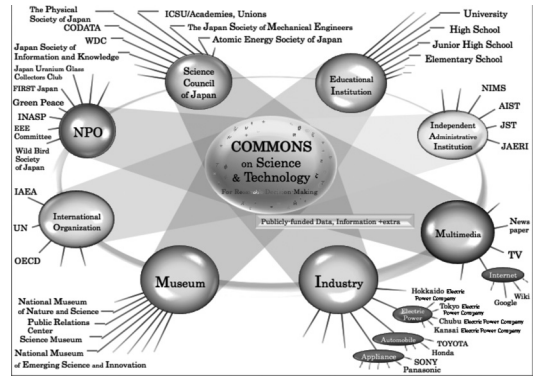


図5. 知的基盤のイメージ。オープンで相互運用可能な分散型システムが、この四半世紀の間、検討されている。DOIやデータモデル等々のメタデータの標準化や非均質の多種多様な情報環境、情報資源を関係付けるツールも整備されつつある。誰が何のためにde fact standardsとなるコンテンツや魅力的な活用事例がコンテキストを準備するか、現物を保持する博物館として何ができるかを考えなくてはならない時期である。

技術的経験の進化を直接反映した「データを介し、つなげて新しい価値を創出するための試行錯誤」を実施し、経験の蓄積を反映して、可能な範囲で予見しつつ、予見できない新事実にやむをかく対応する知識マネジメント技術の確立が続く、豊かな多様性を有する人工物群のバックヤードとしてデータ中心の科学 (Data-Centric/Intensive Science) がある。そのための知的基盤のイメージを図5に示す。知的基盤を強固にするためには現物とのリンクが極めて重要である。現物⇔データ⇔モデル⇔評価⇔意思決定⇔設計変更の付加価値創出のライフサイクルについて、モノについてはデータとメタデータの整備、コトについては過去の設計事例の追体験/整理と進行中の設計作業からのデータ獲得/背景知識の拡充を通して、設計プロセスの俯瞰図が得られる。前者の追体験はオーラルヒストリー、後者は設計作業におけるQ/Aの編集が設計プロセスの骨格を形成する第一歩となる。

4. おわりに

博物館の収藏品や展示は、人類の歴史の中で創出された人工物全体のほんの一部である。またそ

それぞれの人工物の豊富な含意（社会，文化，経済，政治や学術的なセマンティックス，コンテキスト）は極めて巨大である．将来に向かっての作業としては，単なる現物，アーカイブのコレクション，狭義のメタデータの整備だけではなく，それぞれの人工物のバックヤードにある豊かなコンテンツ，コンテキスト，外部知的基盤との連携が可能な“オープン”な知的環境の整備が要請されている．そのためには，人工物の進化/消滅の経緯を表現するためのネットワークと人工物の関係性を表現するための出発点となる俯瞰図（マップ）集の準備が必要である．

参考文献：科学博物館を基点にした
人工物ネットワークの概念設計

- 1) Tony Hey, Stewart Tansley and Kristin Tolle, 2009. 『The FOURTH PARADIGM DATA-INTENSIVE SCIENTIFIC DISCOVERY』 Microsoft Research: <http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/fourthparadigm/>
<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gray/NoFrameDefault.htm>
- 2) 山田慶兒, 1995. 『東アジアの本草と博物学の世界』上・下, 思文閣出版
- 3) 首都大学東京牧野標本館: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110006342836/>
- 4) GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY: <http://www.gbif.org/>
- 5) Species 2000: <http://www.sp2000.org/>
- 6) Depei Liu, CODATA 2006 基調講演: <http://www.codata.org/06conf/abstracts/keynotes/LIUDepei.htm>
- 7) International Virtual Observatory Alliance: <http://www.ivoa.net/>
- 8) 例えば, ピーター・ライス (著), Peter Rice (原著), 岡部憲明 (翻訳), 瀧口範子 (翻訳), 太田佳代子 (翻訳), 1997. 『ピーター・ライス自伝—あるエンジニアの夢みたこと』 鹿島出版会
- 9) UNESCO World Heritage Centre: <http://whc.unesco.org/en/list/371>
- 10) UNESCO Memory of the World: http://portal.unesco.org/ci/en/ev.php-URL_ID=1538&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- 11) International Council on Archives (ICA): <http://www.ica.org/>
- 12) International Council of Museums (ICOM): <http://icom.museum/>
- 13) The International Federation of Library Association and Institutions (IFLA): <http://www.ifla.org>
- 14) The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty: <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>
- 15) Linus Pauling File, MPDS, 2002
- 16) Dublin Core Metadata Initiative: <http://dublincore.org/>
- 17) Patricia Ann Reed, 1995. 『CIDOC Relational Data Model A Guide』 International Documentation Committee of the International Council of Museums (CIDOC): http://cidoc.mediahost.org/content/archive/data_model/datamodel.pdf
- 18) 国内では, 東京国立博物館 博物館情報処理に関する調査研究プロジェクトチーム, ミュージアム資料情報構造化モデル: <http://webarchives.tnm.jp/docs/informatics/smmoi/>
- 19) CODATA Species 2000 TG CD
- 20) トヨタテクノミュージアム産業技術記念館, 2008. 『産業技術記念館ガイドブック』
- 21) Hyman G. Rickover, 1974. 『Hearings on Military Posture and H. R. 12564』 U.S. G.P.O., page 1,392
- 22) J. Ziman, 1978. 『Reliable Knowledge: An Explanation of the Grounds for Belief in Science』 Cambridge University Press
- 23) CODATA: <http://www.codata.org/>
- 24) 吉川弘之, 1979. 『一般設計学序説』 精密機械 45(8) 20-26