建築設備と人材育成について
その１　建築設備と ICT のこれまでとこれから

Building Equipment and Human Resource Cultivation
Part 1 Past and Future of Building Equipment and ICT

内海康雄 [1]
Yasuo UTSUMI

1. はじめに

LAN やインターネットが普及し始めた 1990 年代から、建築設備の制御は自律に加えてリモートとなり、今はインターネット上でつながっています。スマートグリッドから始まり、スマートコミュニティ、スマート社会、デジタル田園都市、SOCIETY5.0 などの考え方が出てきて、将来の都市では IT が組み込まれた建築設備が大多数となるでしょう。

ここでは建築設備と IT のこれまでと将来、そしてそれらを支える人材育成について述べます。その１は、都市・建築環境の課題解決に関わる専門知とこれからの建築設備についてです。その２では、これまでとこれからの人材育成と 20～30 年くらい先の将来動向について述べます。

なお、これらの内容は文献１に掲載された内容を一部改訂、加筆しています。また、建築と設備はヒトと社会と一体化していることと、東日本大震災を踏まえた内容であることから、本報では扱う範囲が広くなっています。

2. ICT（情報通信技術）に思う

2.1　1970 年代の計算機との出会い

1970 年代はプログラムを紙テープ、パンチカードで書いて、実行処理の順番待ちをしました。TSS（Time Sharing System）端末になって、紙ベースですが一人一台の CUI（Character User Interface）が使えるようになりました。そして GUI (Graphical User Interface)となり、今に至っています。計算機は、ノイマン型が並列化されて行き、非ノイマン型（ニュ―ロン、量子など）が実用化されつつあります。

OS は UNIX、MS-DOS のほかに日本独自の TRON も生まれていた時代です。マッキントッシュ PC の UI（User Interface）は優れたものでしたが、DOS-V と Windows が出てきてからは、大分近くなった印象があります。現在のコンピュータが計算速度と消費電力などを競う中、トップ 20 の OS が UNIX というのも面白い。

計算機が人間の一部の能力、記憶・計算などを飛躍的に拡大し、それを肯定的に受け入れていた時代です。移動するのに馬から車・飛行機へ変わったのと同じです。一方、2045 年にシンギュラリティ（特異点）を迎えるそうですが、ファクシミリと電子メールの普及がヒトのいそがしさに与えた影響を考えると、ヒトがコンピュータに使われる道へ進んでいるようにも見えます。

2.2　アプリケーション

当初はアプリケーションの開発ツールが限られていたので、ワープロ、表計算ソフトが出るまでは自作でした。苦労はしますが計算機の原理･動作からソフトウェアの実装までをおおむね学べました。1970 年代後半に計測・データ処理に使った CANON AX-1 は、処理命令一つがボタン一つと対応して、個別にソフトを組むより早いし役立ちました。

日本人のアイデアでワードプロセッサが登場してから、計算機は科学技術分野のみならず身近で普通に使われ出しました。ワープロの直前に和文タイプライターが出てきて、学会の発表論文が手書きからタイプ文字になり、運転免許証の代筆を頼める代書業もありました。それがワープロに置き換わって行きます。破壊的イノベーションが職業の盛衰に強く影響を及ぼしたのです。

2.3　建築設備と IT の協働

建築設備の多くは、機器・システムに、制御用の機器とコードが付加された組込みシステムとなっています。インターネット上でつながったのは、共通のプロトコル（通信手順）を持つという標準化の成果です。例えばビル用マルチエアコンは 10 年以上前から、プロトコルである BACnet などにより世界共通で動くようになっています。

[1] 舞鶴工業高等専門学校　校長

それを拡大するとスマートコミュニティが可能になるという主張が出てきて、一般に次のように進むと考えられます。

機器単独の組込みシステムとして自律
→ネットワーク上の情報共有
→インテリジェントな協働動作（自らの判断に基づいた動作）
→スケールが大きくなるとスマートコミュニティになる

一方、産業・業界としては、次の要求があります。高温・塵埃・24 時間稼働などの厳しい環境で、産業用機器を長期に安定して稼働させたい。できれば OS などの関連ソフトのアップデートせずにそのまま使いたいなどです。後者は、今後の周辺機器の OS ヴァージョンアップについて行けるかどうかが大きな課題です。

またサプライチェーンの安定、必要資源の備蓄、情報セキュリティの確保、災害時の電源確保など、まだ続くコロナ感染症のまん延、ウクライナでの戦争の影響など、国内外の活動を見据えた対応が必要です。

3.　都市・建築の環境の課題解決

3.1　課題の変遷

3.1.1　時間と大きさからみた建築設備が関わる分野

設備機器・システムと建物を含めて、評価項目として安全性、機能性、快適性、美しさ、コストが挙げられ、これらを踏まえた研究・開発・生産の後に市場へ提供されます。

また製品のライフサイクルとして；

企画 → 基本設計 → 実施設計 → 生産 → 実装・施工 → 稼働・維持管理　→ 廃棄

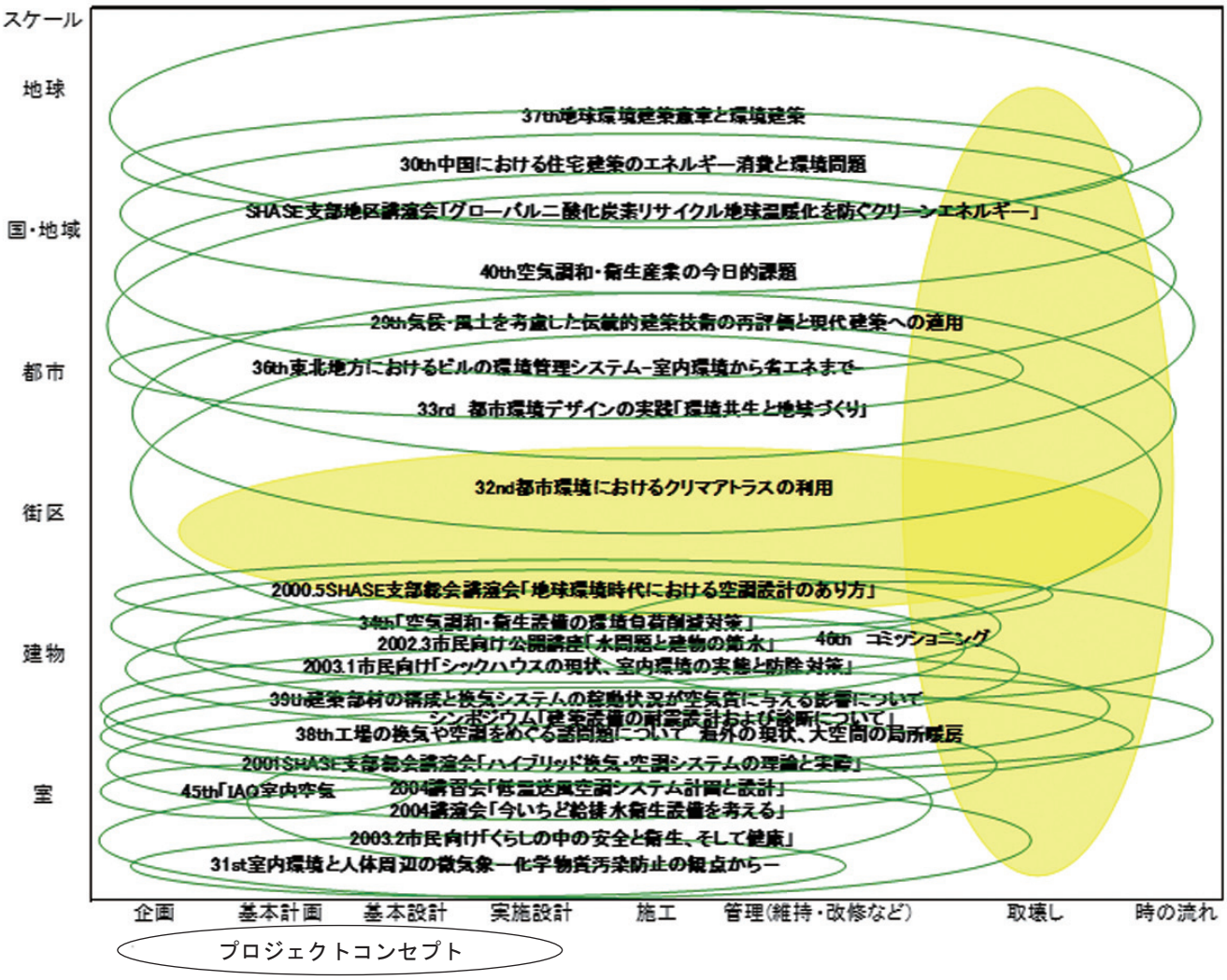

図１　東北環境設備研究会のテーマ（2015 年まで）

があります。上流側は自然資源を加工してモノを製造・提供する動脈産業に相当します。廃棄物による環境汚染が社会問題になってから注目されている、生産物の回収・再利用・無害化などを行う静脈産業は下流側になります。

図１は空気調和衛生工学会東北支部の過去の講演会等のテーマです。ライフサイクル（時の流れ）を横軸に、ヒトから都市、地球などのスケールを縦軸にして分類しています。個別の空調機器や課題などについては、建物や室のスケールの設計・計画が多くあります。また熱・空気に携わる研究者・実務者の数が多いので、それに関するテーマが多い。

またテーマの分布は均等ではなく、２つの楕円で示す手薄な領域があります。横軸では下流側、縦軸では街区です。もちろんそこには貴重な経験知を持つ方々がいて活動していますが、テーマ数としては少ない。学校で学生の皆さんが習うのは、主にライフサイクルの上流側が多く、社会に出てから全体像を理解することになります。

3.1.2　中央管理方式の給気の例

建築設備は広汎な分野で活躍しています。技術・科学の変遷により、時代と共にそれぞれの分野で使われる方法が変わっていきます。一例として、室の必要換気量を提供する中央管理のダクトを取り上げます。中央管理方式そのものは、ビル用マルチエアコンが普及する中、建物種別によっては少数派になりつつあります。調べますとかなり前の空気調和衛生工学会誌に設計法が載っていました。

十数年前に宮城県内の某病院でダクトの供給空気量をトレーサーガス法で実測する機会がありました。換気系統一つを計測した所、実測給気量は設計値の＋0～10%内に収まっていました。ヒトを守る役割を持つ病院施設での現場の方々の働きとノウハウには頭が下がる思いでした。

3.1.3　今後対応すべき課題

建築設備は自然環境の中でエネルギーを使って人工環境を作っています。地球温暖化に対応するための省エネルギーと脱炭素化を、個別の建築設備、建物、それより大きいスケールで行わねばなりません。次に、大災害に対応できる建築設備の研究、開発、生産と実装です。2011 年の東日本大震災では、1978 年宮城県沖地震の際よりも情報関連の設備・機器の設備被害が多くなりました[2)]。今後、IT・通信機器の重要性は高まりますので、BCP（Business Continuity Plan, 事業継続計画）を含めて対応が必要です。

国連は 2030 年を目指して SDGs（Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標）を掲げています。WHO の well-being（健康）[3)]、UNDP（国連開発計画）の HDI（人間開発指数）[4)]、JICA 緒方研究所の「今日の人間の安全保障」[5)] が注目されています。これらを含めて、自ら活動しながら、大勢の人と話合いながらより良い方向を目指し続けねばなりませんが、建築設備のできることは多いと思います。

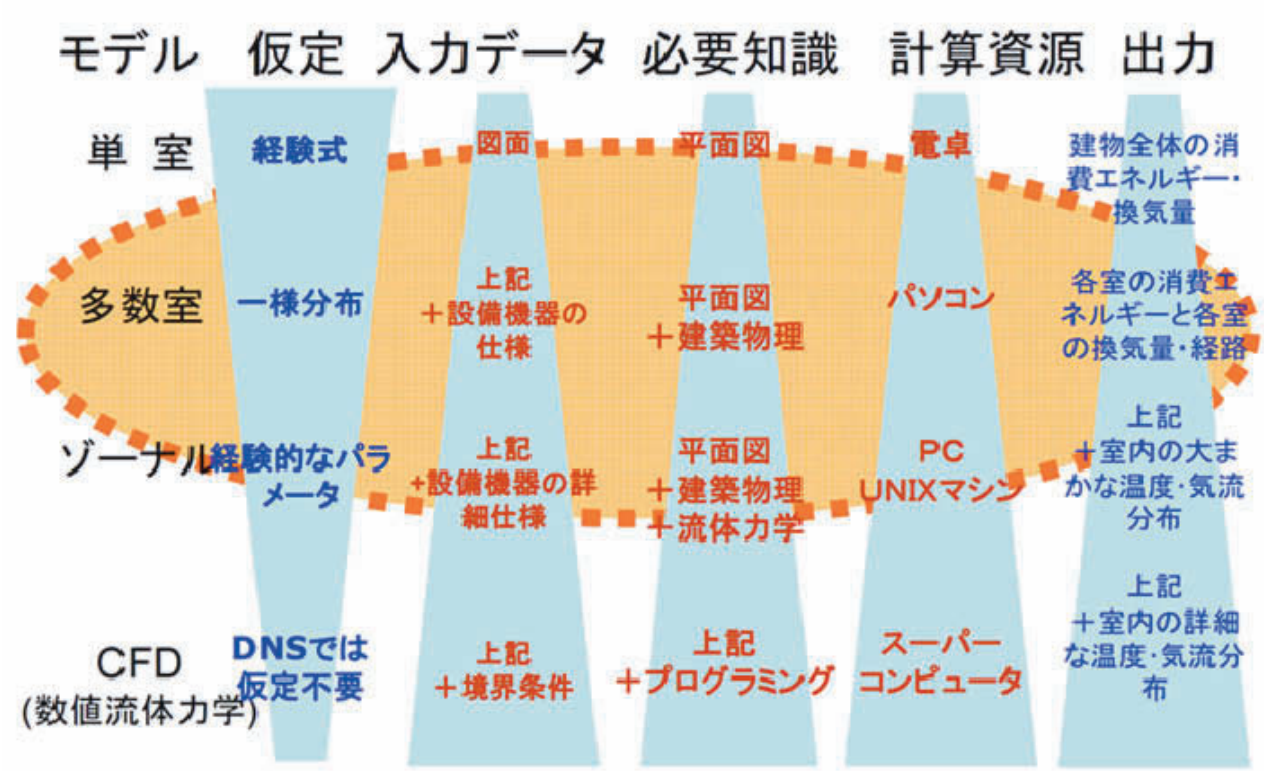

図２　熱・空気関連の計算ツールの分類

3.2　熱・空気についての科学・技術の知識
3.2.1　環境と設備に関して我々が持つ知識

空気・水・熱・音・光の建築環境で考えますと、我々の道具・知識は、理論・実験・シミュレーションとそれらの組合せです。シミュレーションは 1980 年代に「模擬」と呼ばれていて比較的新しい。換気についての詳細は文献 6 をご覧下さい。

近年、AI・ビッグデータがよく使われますが、「多分こうなる」、「この現象を説明するにはこんな項目が関係している」が分かります。統計的には正しい結論ですが、なぜそうなるのかという説明ができない場合が多くなります。これまでの現象を明確に因果関係で説明することから、確率的な説明へと頭を切り替えねばなりません。

なお、すべてに共通して、現象を数式化・モデル化する際には、本質はつかめますが、何か欠落することがあります。建築設備について言えば、少ない経験ですが、現場で起きた課題は、まず現場を見てそこで意見を聞くのが一番と思います。

3.2.2　シミュレーションの伸展

IT・通信とそれらの利用技術の飛躍的な向上から、シミュレーションはとても役立っています。CAD データモデルのファイル形式 IFC（Industry Foundation Classes）が普及して、建物のモデル化手法 BIM（Building Information Modeling）と相まって、室内環境の早い効率的な予測計算ができるようになりました。計算ツールによってはマルチフィジックスに対応していて、現象の記述方程式があれば、複数の物理現象を連立して解けます。

一方で、建物全体を扱うような大規模な熱・空気の連成計算には CFD（Computational Fluid Dynamics, 計算流体力学）以外のソフト、例えば HASP[7)]、The BEST Program[8)]ほか、国内外のアプリケーションが使われています。図 2 は熱・空気の計算ツールの分類です。課題に対して必要な出力と現有資源などに応じて、アプリケーションを選択する時に参考になるかもしれません。

モデル中のゾーナルとは、室内の熱源などの主な駆動力、例えば吹き出し口を考慮して、特定の室について対象範囲を幾つかのゾーンに分けて考えるモデルです。また DNS（Direct Numerical Simulation, 直接数値シミュレーション）は、流れの基礎方程式をそのまま解く方法です。仮定は無いのですが、高速・大規模な計算資源が必要となります。

3.2.3　環境デバイスとしての建築設備

センサーの小型化・多様化が進み、例えばスマホの中には GPS を始めとして多くのセンサーが入っています。最近、屋外の風向・風速をリアルタイムで 3 次元計測する製品が発売されました[9)]。65cm 立方の筐体で測定範囲最大 15km、風速分解能 0.1m/s、最少距離分解能 10m です。スタジアムには使えそうです。ここ数年で AI により、画像データから人の健康・感情を判断できるようになりました。例えばソチオリンピックでの犯罪者の検知が報道されました。

センサーが環境デバイスとしてクラウドにつながり、モニタリングデータの記録に加えて；

モニタリング→データ収録 → 制御情報を作成 → 制御を実行 → モニタリング → ・・・

というサイクルを、リアルタイムで容易に行うようになりました。共同開発した環境デバイスの IoT としての機能を図 3 に示します。30 年前は部分①だけでしたが、制御機器が付加されて部分②が自律し、インターネットが普及して部分③が主流となりつつあります。将来は制御機器が発達して、部分②が制御情報を自律的に作り出すエッジコンピューティングが普及すると思います。

またデジタルツインと呼ばれる、現実と仮想現実（Virtual Reality, VR）の組合せが、建築設備の操作と点検に使われるようになると思います。EU では 20 年位前から実用段階に入っていました。例えば、設備点検の際に、邪魔にならない程度の大きさのゴーグルをつけた作業員が現場に行きます。現実と正常な状態を再現した VR を重ねて見て、異状の有無を判断します。異状があれば、画面に症状と原因のリスト、対策を優先順で示して、必要な部品の在庫状況を知らせます。

一方で、現実と仮想の区別をどうつけるのか、またヒトが感じる「何となく変だ」という五感だけでは判断できない場合への対応などが、これからの課題と思います。

4.　建築設備に関する専門知について
4.1　建築設備に関係する人々の知識の分類
4.1.1　専門知の分類

建築設備の実務・研究に携わる方々は専門家でして、今まさに実務や論文執筆で新たな専門知を作り上げています。一般の方々と接する際には、専門用語を使わずに説明するなどの工夫をされていると思います。

図４は専門知の分類例です[10]。社会に暮らす皆が持つ様々な技術・科学の専門知について、理解・対応の仕分けを示しています。上にある遍在専門知とは、ある社会に属するどの人も、その社会で生きるために持たねばならないものです。例えば、日本なら日本語、専門家の意見を聞きながらの COVID-19 への対応などです。メディアの取材側は対話型専門知を持ち、最先端の実務や論文執筆をしている方々は貢献型専門知を持ちます。

全体を見ると、左から右に知識のレベル・機能がおおむね上がっていきます。下に行くにつれて、汎用的な知識になっていき、ある水準になれば資格として認証されます。上位のレベルは下位のレベルの知識を含むことが多くあります。各知は明確に線引きできるのではなく、幾つかが混ざり合っています。詳しくは文献 10 をご覧下さい。

学生の方々はこの図でご自身の立ち位置と成長の度合いが分かるかもしれません。また一般の方々を含めて、皆を巻き込んで社会課題を解決していくときに使えると思います。

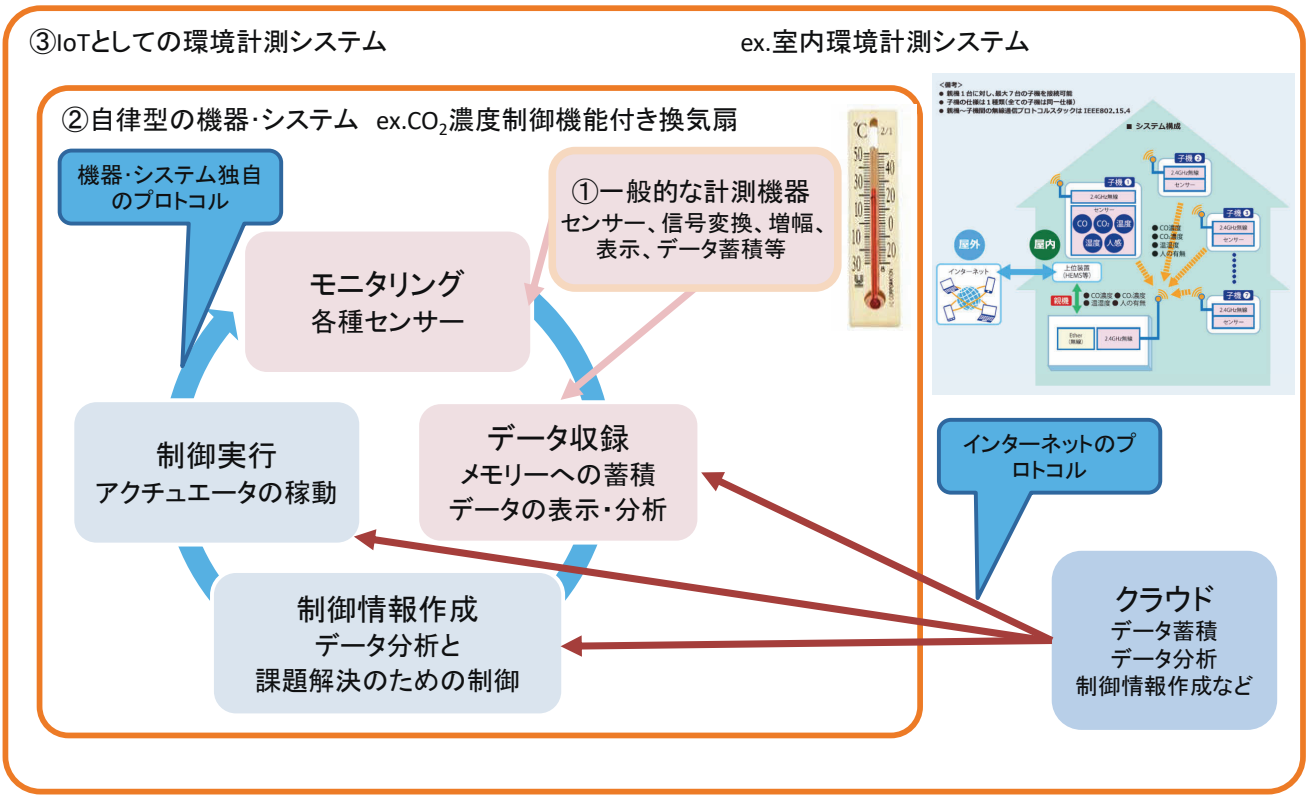

図３　環境デバイスの IoT 機能の例

遍在専門知		
素　質	対話能力 熟慮能力	
特定分野の専門知	遍在暗黙知	特定分野の暗黙知
	ビアマット知識→通俗的理解→一次資料知識→対話型専門知→貢献型専門知	
	社会多形性 物真似単形性	
メタ専門知	外在的（変性型専門知）	内在的（非変性型専門知）
	遍在的識別力　局所的識別力	専門的目利き　下向きの識別力　投射型専門知
メタ基準	資格　経験　実績	

図４　専門知の機能による分類（文献 10 から作成）

4.1.2　総合化による課題解決

ここでいう総合化は、課題解決のために理論・実験・シミュレーションの何か新しい組合せを考えることです。例えば扱うスケールが大きいスマートコミュニティなどは、建築設備のみで実現するものではなく、幅広い分野の協働が必要です（例えば文献 11）。

工学的に課題を解決する際の方法は一般に次の手順になります。

課題の発見 → 現象のモデル化 → 解決手段の探索と選択 → 解決の実施 → 効果の検証 → 課題の発見 → ・・・

と繰り返します。

前 3 者については、文献 12 が役立ちます。問題の枠組みから解決後の検証に至るまで問題を構造化して客観的に記述することができます（図 5 参照）。どこまでの範囲で何が必要かを考えることができます。それより後ろの部分は、実務や現場を知らないと考えられないと思います。

4.1.3　非常時の現場での知識の使い方

現場は問題の宝庫です。問題は同じようでもどこか違います。それが毎日起こるので、工夫が必要になります。将来必ず起きる深刻なものの一つは大災害です。発災時にはトリアージに近い対応が必要となります。建築設備であれば、限られた資源の中で、病院の手術室がいつ幾つ動くのか、どの部屋から暖冷房を入れるのかなどです。

平常時のように PDCA は回らないので、1，2 時間ごとに変化する状況と資源量に対応することになります。例えば、東日本大震災の直後、原発から飛来する放射性物質の室内への侵入防止と、停電中に使っている開放型燃焼機器への新鮮空気を取り入れる窓開放のどちらを優先させるかは悩ましいものでした。

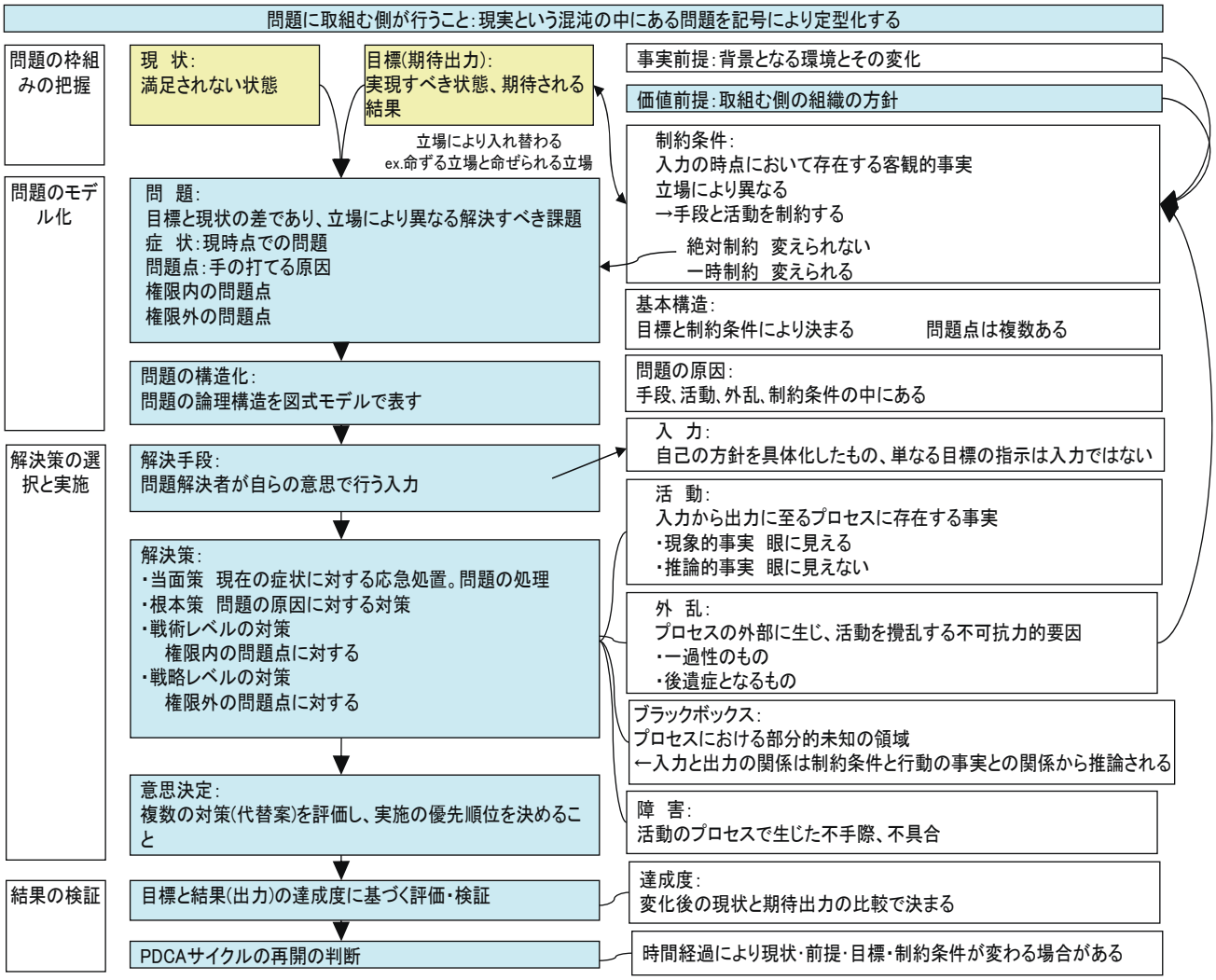

図 5　課題のモデル化・解決のプロセス（文献 12 から作成）

実務者・専門家は、ここに至って、手法だけではなく正義・倫理・哲学に関わる判断をせねばならなくなります。建築設備で目の前にいる避難所の人々を災害から守るには、普段から建築設備を正しく扱えるヒトを育てる必要があります。

4.2　創造性について

4.2.1　生きるために必要

ヒトは初めての問題に出会い、新たな解決法を生み出して生き延びてきました。アフリカの大地溝帯からアメリカ大陸までの１万年の旅が口伝で残されていますが[13]、最初から人類は創造性を持っていたのかも知れません。というのも創造性が無ければ旅の途中の困難を解決できないと思うからです。

ヒトと社会が持つ課題を、新たな手法で解決する創造性を生むために、大学・高専・企業などの研究・開発そして教育と人材育成が行われ、学協会などがそれを協働・推進しています。

4.2.2　創造性へのアプローチ

創造性は 18 世紀頃から扱われて、今は「創造性は、製品、サービス、プロセス及び手段において、新奇で有用なアイデアを生み出すことである」という考え方があります[14]。

アプローチを表１に示します。米国では２週間程度のセミナーに数万ドルの費用をかければ修得できるそうです。測定法は 10 以上提案されていますが、調べた範囲では、創造性を発揮して課題を解決する過程は次のように考えられます。

個人について：　まず個人の能力が、情報コンテンツ（内容）、情報の所産（構造）により分類されます。そして図６のように能力に応じて関係する情報を収集して、解決策を記憶と探索により多数考え出す拡散過程の後、幾つかの選択肢にまとめる収束過程を経て、どれか一つを選んで実施します[15]。

表１　創造性へのアプローチ（文献 12 から作成）

神秘的アプローチ	科学的分析を受け付けない
実用的アプローチ	創造性の活用とその促進
心理測定アプローチ	創造性の測定
認知アプローチ	情報処理のプロセスや心理的描写
社会パーソナリティアプローチ	創造性に与えるモチベーションや他者の役割
進化的アプローチ	創造性は、個人が環境の中で生き残るための適応と考える
複合的アプローチ	上記の様々なアプローチを統合

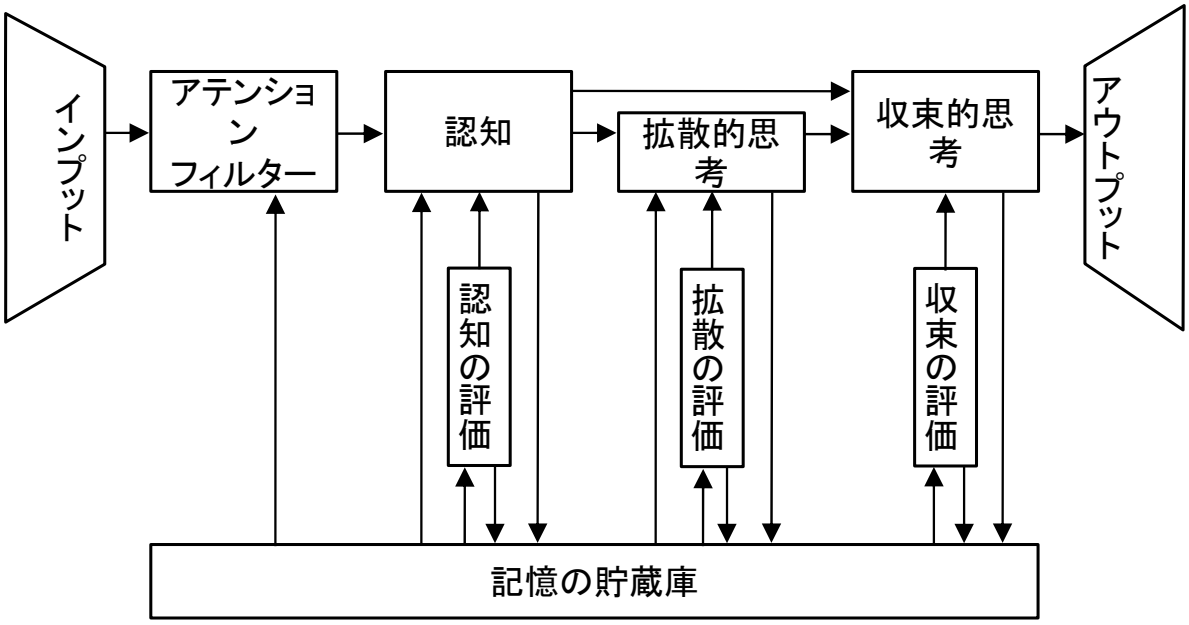

図６　Guilford の SIPS モデル(文献 14,15 を基に作成)

少人数グループについて：　図 7 の SECI モデルが提唱されています[16]。形式知である文献等を読み合わせて、関連する情報をグループ内で連結して組合せます。グループ内で情報は内面化されて行き、暗黙知を共有しながら一丸となって共同して課題は解決されます。それを報告書にして形式知で表出すると、外部からグループの活動を理解して模倣できます。

組織の学習については文献 17 が参考になるかもしれません。このほか、創造性の発揮のために PDCA、OODA、アジャイル PM（プロジェクト・マネージメント）など多数が提案・実施されています（例えば文献 18）。

ここではイノベーションの 2 つのタイプ[17]を図 8 に紹介します。創造性の発揮は周囲の環境にも影響されるようですので、扱う建築設備・システムの周りを見渡す必要があります。

4.2.3　能力向上への研鑽

何か課題があってそれを解決するための能力開発は、おおよそ次の段階を経ているように思います。

個 人 → 小規模グループ（ex.家族、友達） → 組織（ex.企業、官僚組織）

それぞれに啓発やノウハウについての情報が世に沢山あって講習会もあります。

生徒・学生の時代は小規模グループまで、社会人は個人から組織までを知って活動しています。小中学校の夏休みの宿題は〆切が迫る中、家族・親戚の助けを借りました。勤めてからは同僚に相談しました。振り返れば、前節の創造する過程があったように思います。

4.2.4　産学連携の歩み

産学連携は社会における知識の総合化による課題解決の典型例となっています。40 年前の学生運動を思いますと当時は考えられないことで、隔世の感があります。表 2 に主な出来事の一覧を示します。米国のバイ・ドール法から始まり日本へ影響した様子がうかがえます。

産学連携に限られる話ではありませんが、活動が多様で大きくなるにつれて、取り決めなどで、あるまとまりにして整理・標準化する。それらが現実問題に即して展開して、また個別化・多様化する。発散してまとめきれずに不具合が出そうになると、また取り決めができて収束するという過程を繰り返しているように見えます。

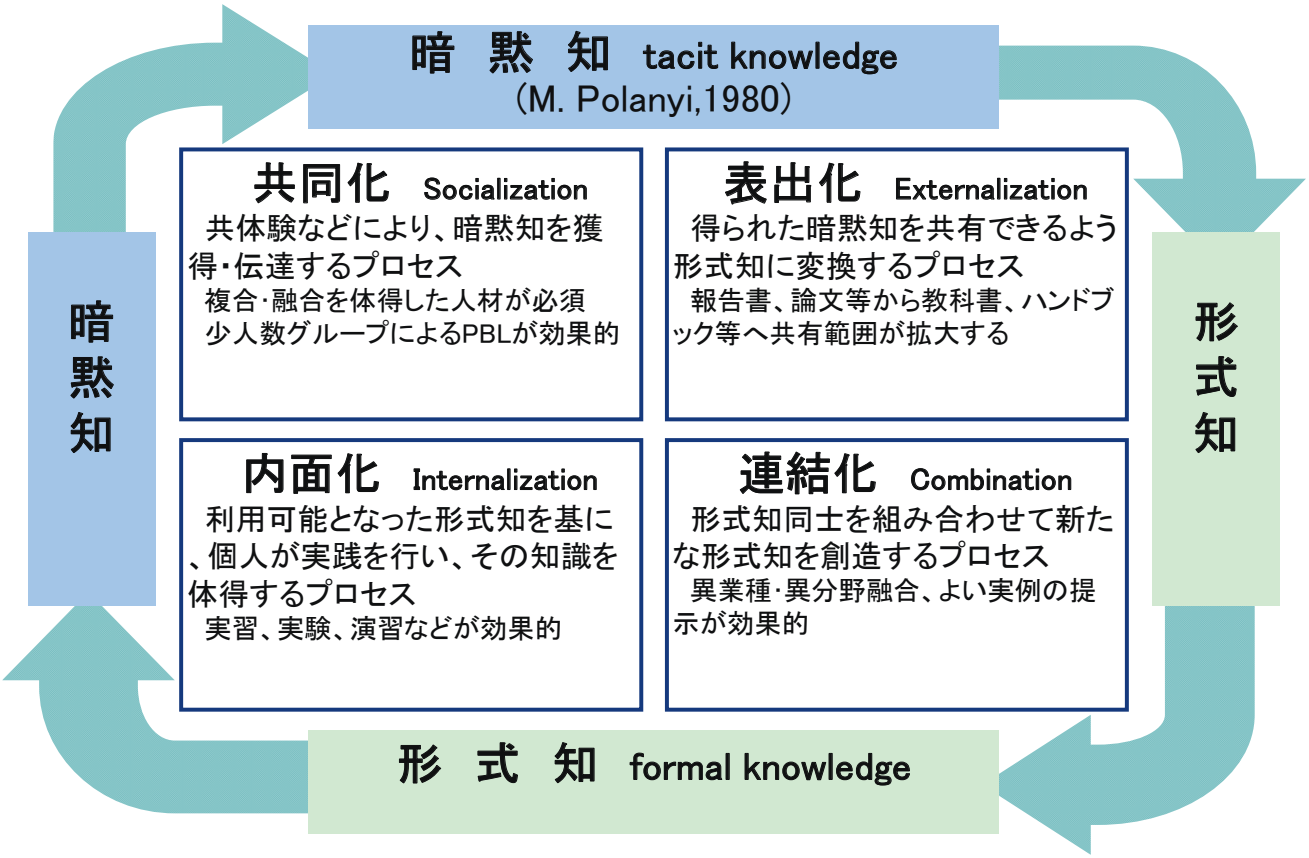

図 7　少人数グループの学習における SECI モデル（文献 16 などから作成）

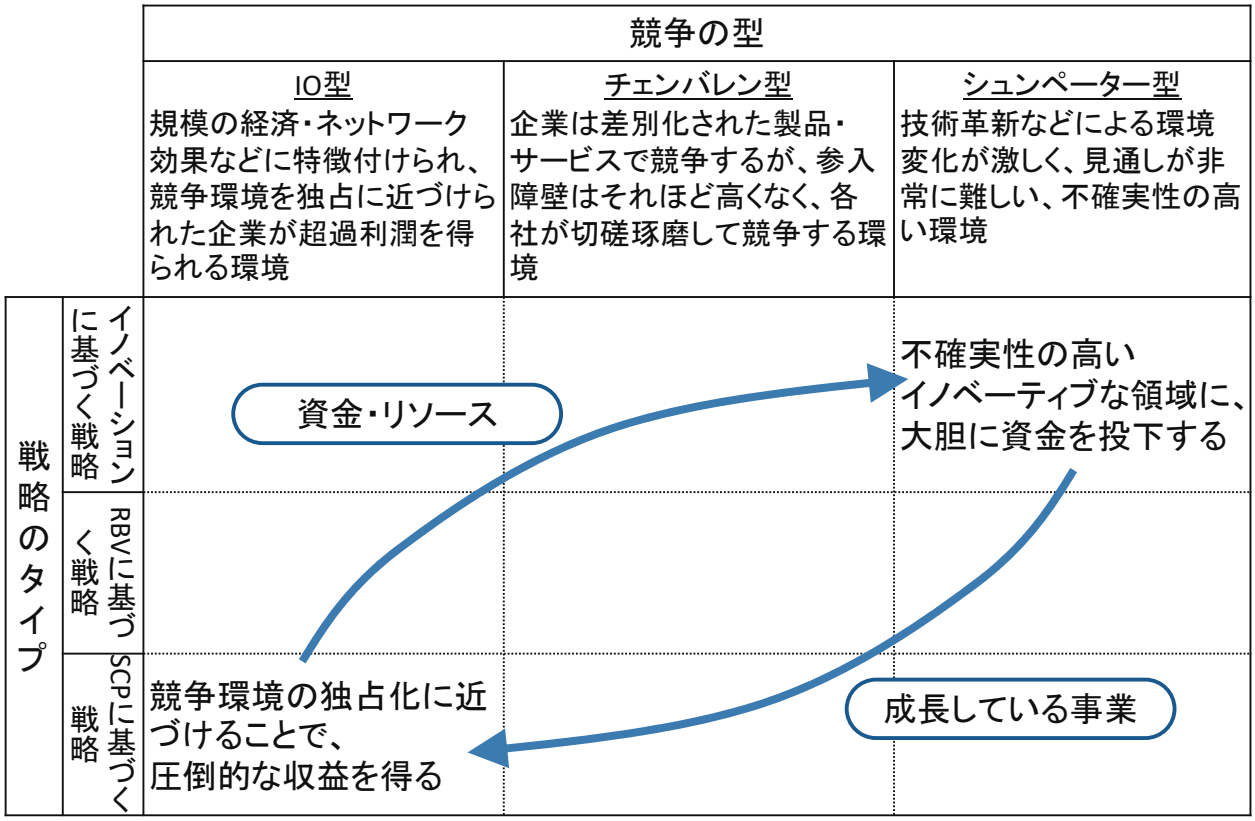

図８　競争と戦略の関係（文献 17 から作成）

表２　産学連携に関わる主な出来事

1980	米国バイ・ドール法(特許法の一部改正法) 政府資金による研究開発から生じた発明についてその事業化の促進を図るため、政府資金による研究開発から生じた特許権等を民間企業等に帰属させる
1984	臨時教育審議会（臨教審）　中曽根内閣 「二十一世紀を展望した教育の在り方」(第一部会)、「社会の教育諸機能の活性化」(第二部会)、「初等中等教育の改革」(第三部会)、「高等教育の改革」(第四部会)
1995	科学技術基本法 科学技術（人文科学のみに係るものを除く）の水準の向上を図り、もって我が国の経済社会の発展と国民の福祉の向上に寄与するとともに世界の科学技術の進歩と人類社会の持続的な発展に貢献することを目的とする。(第一条抜粋)
1996～2000	科学技術基本計画第１期　　環境整備
1999	日本版バイ・ドール法 政府資金による委託研究開発から派生した特許権等を民間企業等に帰属
2001～2005	科学技術基本計画第２期 重点４分野(ﾗｲﾌｻｲｴﾝｽ、情報通信、環境、ﾅﾉﾃｸﾉﾛｼﾞｰ・材料)
2001	総合科学技術会議 科学技術政策に関する司令塔機能の一層の強化
2006～2010	科学技術基本計画第３期イノベーション
2009～2014	MEXT, JST　地域創生人材育成プログラム
2011～2015	科学技術基本計画第４期 震災復興、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、システム構築
2011	ISCED: International Standard Classification of Education（UNESCO, OECD, EU）
2014	総合科学技術・イノベーション会議(総合科学技術会議を改称)
2014～2016	OECD:KT（Knowledge Triangle)プロジェクト　　教育とイノベーション
2016～2020	科学技術基本計画第５期ｱﾝﾄﾚﾌﾟﾚﾅｰｼｯﾌﾟ
2021～2025	科学技術・イノベーション基本計画第６期　　我が国が目指す社会(Society 5.0)

4.3　技学について
4.3.1　技学の特徴

社会の課題を解決する枠組みの一つとして産学連携があり、そこではステークホルダの連携があります。科学技術と社会の大きな枠組みとして図９が示されています[19]。図中の大きな矢印は純粋科学と科学技術からの社会へのアプローチになります。

長岡技術科学大学により国際技学カンファレンス in 長岡が開催されています[20]。技学とは「現実の多様な技術対象を科学の局面からとらえ直し、それによって、技術体系をいっそう発展させるための技術に関する科学」とされており、技術の科学という包括的な枠組みを提示しています。

技学は、科学技術の袋小路を打ち破る高等教育や職業教育の概念とされることが多く、社会の直面する課題を解決するための方法論を進化させることも期待されています。高等教育と職業教育が世界的に拡大している中で、PISA、学生の起業家精神の促進、そしてイノベーションの実現につながります。

4.3.2　３つの手法の組合せ

具体的には、理論・実験・シミュレーションというヒトが現有する解決手法を組み合わせて、それらを高めていくと考えられます[21]。一般に研究活動には深い知識が必要ですが、製造業やサービス業の発展には幅広い知識とマネジメント能力が求められます。後者は、解決すべき課題の周辺領域をカバーする関連分野とリベラルアーツの専門知識に基づいています。特に社会の実践的なニーズから始まった課題は技学の概念に近いため、アクティブラーニングや PBL などの教育が必要となります。

技学は、科学、理論、シミュレーションの組み合わせを業界の伝統的な手法とと共に活用し、個人の独創性、創造性、ビジョンに支えられ、プロジェクトに関係する人々を巻き込んで、これら 3 つの項目が機能するときのフレームワークとパフォーマンスを明らかにします。また技学は学際的・総合的に構成されるべきでして、技術の科学として、それがどこから来るのかを扱うことができるため、関係する項目を統合して扱うことができます。

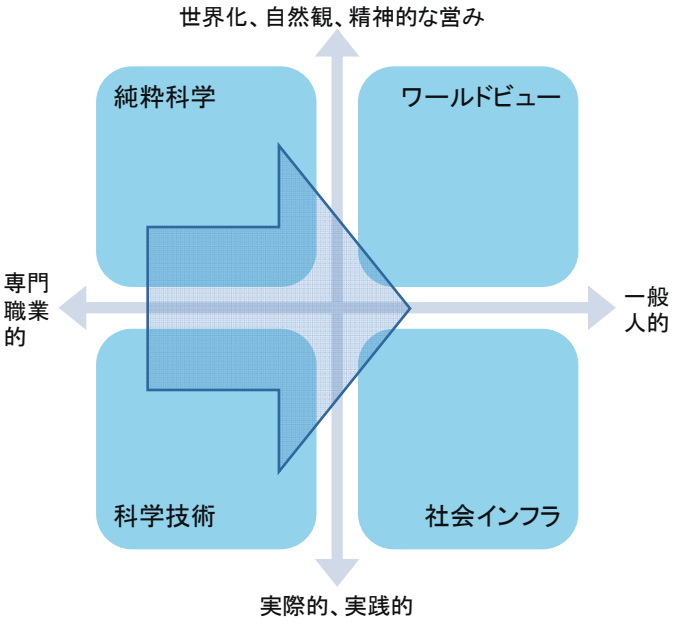

図９　科学技術と社会（文献 19 から作成）

5.　これからの建築設備
5.1　東日本大震災で感じたこと
5.1.1　大きな災害後の時間経過と建築設備の役割

2011 年の東日本大震災で実感したのは、建築設備はヒトの存続に直結しているということです。空気が無くなれば数分、室内の温度が極端になれば数時間で生命が危険になります。衛生設備が無ければ、数日で感染症が広がる恐れがあります。普段考えているつもりでも、大きな災害が起きると、思い至らなかったことに気づかされます。災害大国日本には干ばつ以外は毎年何かあるので、大災害の現場で答えを迫られる前に備えねばなりません。

表３に発災後の時間経過に沿って、居住環境の課題、室内環境の目標、建築設備の機能を示します。発災後は社会インフラ機能が広範囲に一時途絶するので、無事に残った建築設備を稼働するエネルギーが必要です。復旧までは、自律した分散型エネルギー源が必要で、地産地消が基本になります。

5.1.2　震災後に建築設備でできたこと

震災直後に地域コミュニティの再建も必要でしたので、住民を大切にした（一社）HOPE が設立され、スマート防災エコタウン[23]が環境省、積水ハウスの多大な支援により建設されました。持続可能な一例と思います。

また（一社）持続可能で安全・安心な社会をめざす新エネルギー活用推進協議会（JASFA）を設立し、太陽光・風力を活用したシステムと復興活動について新エネ大賞[24]を受賞しました。活動はまだ続いています。

表３　平常時と災害時の室内環境の課題・目標・建築設備の機能（文献 22 を基に作成）

<table>
<tr><td>経過時間</td><td colspan="3">直後～４週間</td><td colspan="3">４週間～２年</td><td>２年～</td><td>備考</td></tr>
<tr><td rowspan="2">居住する場所</td><td rowspan="2">震災時の居場所</td><td rowspan="2">→</td><td rowspan="2">避難所</td><td colspan="3">→　→　→</td><td rowspan="2">借上げ住宅・復興住宅などの住居</td><td rowspan="2">仮設住宅の供与期間は２年、最長で５年の場合がある。</td></tr>
<tr><td>→</td><td>仮設住宅</td><td>→</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">→　→　→　→　→</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>実現すべき環境</td><td>レベル１
（生命維持）</td><td>⇔</td><td>レベル２
（保健･衛生）</td><td>⇔</td><td>レベル３
（通常生活）
延べ面積制限有り</td><td>⇔</td><td>レベル３
（通常生活）</td><td>借上げアパートから以前の居住地に近い仮設住宅に移る場合がある</td></tr>
<tr><td colspan="9">（１）居住環境上の課題</td></tr>
<tr><td>温熱</td><td>シェルター機能が不十分</td><td></td><td>体育館等の公共施設の熱的性能の不足</td><td></td><td>一般的な熱的性能が確保されない</td><td></td><td rowspan="6">一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄</td><td>各建物の性能差が大きい。</td></tr>
<tr><td>空気</td><td>安全とは限らない外気</td><td></td><td>ゴミ･トイレの臭気</td><td></td><td>不十分な換気</td><td></td><td>換気設備が完備していることは少ない</td></tr>
<tr><td>音</td><td>余震の音
TV、ラジオの音声</td><td></td><td>他人の会話が聞こえる</td><td></td><td>隣室からの音</td><td></td><td>就寝時の騒音が課題</td></tr>
<tr><td>光</td><td>照明が無い
避難路が不明</td><td></td><td>避難路が不明</td><td></td><td>夜間照明の不備</td><td></td><td>避難、防犯の対策</td></tr>
<tr><td>水</td><td>飲料水が無い</td><td></td><td>トイレ洗浄水の不足</td><td></td><td>中間季･冬季の結露</td><td></td><td>配水には多人数が必要</td></tr>
<tr><td>心理</td><td>被災直後の混乱
安全に関する情報提供</td><td></td><td>避難所のプライバシーの不足</td><td></td><td>孤独化防止のためのコミュニティが確保されない</td><td></td><td>機器・資材と共に担当者を用意する必要。</td></tr>
<tr><td colspan="9">（２）実現すべき室内環境の目標</td></tr>
<tr><td>温熱</td><td>寒さ･暑さから生命を安全に保つ</td><td></td><td>熱中症･風邪などの健康管理を行う</td><td></td><td>一般住宅と同じ環境の実現</td><td></td><td rowspan="5">一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄</td><td>高齢者の健康・快適</td></tr>
<tr><td>空気</td><td>安全な室内空気の提供</td><td></td><td>ゴミ･腐敗物の臭気の除去</td><td></td><td>必要換気量の確保</td><td></td><td>多様な汚染源の混在に対応すべき</td></tr>
<tr><td>音</td><td>災害情報等が明瞭に聞こえること</td><td></td><td>安全情報が明瞭に聞こえる</td><td></td><td>隣室からの音の遮蔽</td><td></td><td>心理に関係</td></tr>
<tr><td>光</td><td>生活・防犯用の照度の確保</td><td></td><td>避難誘導を可能にする照度の確保</td><td></td><td>十分な夜間照明の確保</td><td></td><td>防災と安全のための照明</td></tr>
<tr><td>水</td><td>飲料水の確保</td><td></td><td>衛生器具用水</td><td></td><td>生活用水の確保、結露の防止</td><td></td><td>生命維持と衛生・防疫</td></tr>
<tr><td colspan="9">（３）目標を実現するための建築設備の機能</td></tr>
<tr><td>空気調和</td><td>生命の安全を確保する暖冷房</td><td></td><td>健康を確保する暖冷房</td><td></td><td>できるだけ一般住宅に近づける</td><td></td><td rowspan="5">一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄</td><td>電源不要の開放型燃焼機器の廃ガスに注意</td></tr>
<tr><td>換気</td><td>新鮮空気の提供
外気の汚染物質除去の機能</td><td></td><td>健康を確保する換気</td><td></td><td>できるだけ一般住宅に近づける</td><td></td><td>放射性物質を除去するフィルタ</td></tr>
<tr><td>衛生</td><td>浄水器、
無水トイレ</td><td></td><td>洗浄用の水の確保</td><td></td><td>できるだけ一般住宅に近づける</td><td></td><td>屋上水槽、夜間電力利用の給湯器</td></tr>
<tr><td>電気</td><td>非常用発電
蓄電池</td><td></td><td>非常用発電、
携帯電話の充電</td><td></td><td>できるだけ一般住宅に近づける</td><td></td><td>自然エネルギー利用、2週間程度の確保必要</td></tr>
<tr><td>通信･制御</td><td>電源自足型の非常用通信機器、災害情報の提供</td><td></td><td>災害･安否情報･交通手段等の情報提供</td><td></td><td>できるだけ一般住宅に近づける</td><td></td><td>クラウド、インターネット、GIS などの利用、広域での対応。</td></tr>
</table>

5.2　建築設備について

5.2.1　組込みシステムからエッジコンピューティングへ

個別の建築設備の機能は次のように変化すると思います。この後に大きなスケールとなるスマートコミュニティへ組み込まれていくのでしょう。

現状の組込みシステム → IoT → エッジコンピューティング

制御できるシステムはエネルギーがあれば自律して稼働します。現場の計算機が十分な能力を持てば、クラウドと繋がらなくても制御情報を作成できます。現場（端，edge）で図 3 の計測・制御のサイクルを回すエッジコンピューティングが普及すると思います。

展開するテーマは、まったく新しい技術というよりは、今見えている技術の組合せによる新しい技術・製品・システムが現れるのではないでしょうか [25]。

5.2.2　UI（User Interface）と UX（User Experience）

建築設備とヒトの関係を考えてみます。今は、部屋のすべての壁面を高精細画面で構成して、任意の場所の風景を映せます。このまま行くとアニメの攻殻機動隊、映画のマトリクスに迫る勢いです。

一方で、ヒトは生物としての限界があります。身体の大きさ・五感の限界、使う言葉や気力の限界などです。ヒトがサイボーグ化して変わらない限り、建築設備も大きな制限を受け続けます。

自動車のサイドミラーに液晶画面が採用されました。没入型仮想現実体験装置は 10 年前に光沢面も再現して、その中にいる 3 名はリアルタイムで互いに仮想空間内の動きが見えます。建築設備の UX は、個別のヒトの生活に合わせて変わっていくでしょうが、お腹が空いたときの食事という現実との折り合いはどうつけるのでしょうか。

5.3　半導体産業の進展

5.3.1　市場規模

エッジコンピューティングとこれからの UX を実現する半導体は、IC、LSI、VLSI へとムーアの法則に沿って集積度が上がってきました。頭打ちになるかと思ったら、配線幅の低減から 3 次元集積へと向かうモアムーアと呼ばれる技術に進み、MEMS やアナログ回路などを合わせるモアザン・ムーアという技術も現れました。

半導体関連産業の市場の概要は現時点で図 10 に示す通りです。半導体デバイス産業は大きく垂直統合型（IDM, Integrated Device Manufacture）と水平分業型（ファブレス）に分けられます。前者は設計・製造を自社内で行い、後者は設計を自社で行い製造を他者に委ねます。

川下側の電子機器産業に建築設備も入りますが、2021 年の世界のスマホの出荷数 12 億台、白物家電 5 品目販売台数 5 億台などの製造に使う半導体が生産されます。これに 2025 年に 5000 万台を超えるという予想の EV 用部品などが加わります。

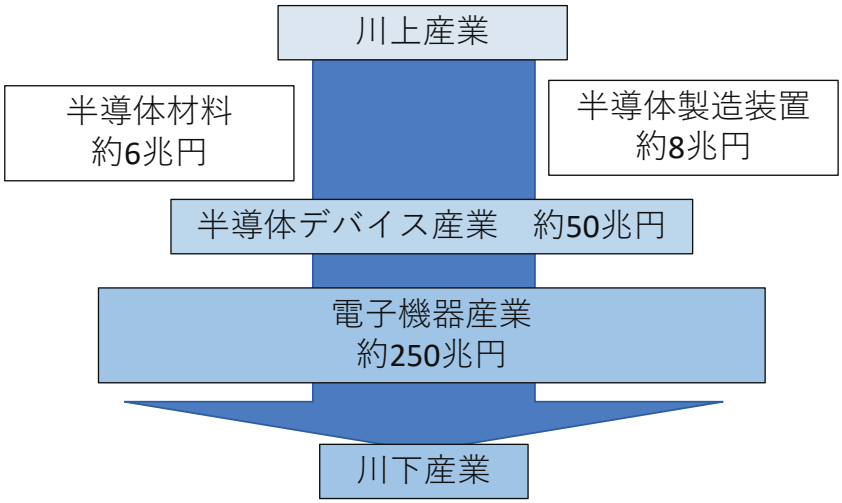

図 10　半導体産業の市場規模(文献 26 を基に作成)

5.3.2　近い未来の半導体

コロナ禍が続く中、ロシアがウクライナへ侵攻し、世界秩序が揺らぎかねない状況で、半導体の安定供給が脅かされる事態となりました。半導体の製造そのものについて日本は後れを取っており、2021 年 6 月に経済産業省から半導体戦略が提示されています [27]。

建築設備は社会インフラを支えてヒトの生活を守る役割を持ちます。おそらく数 nm の配線幅というよりは数世代前の数十 nm の半導体を多く使うと考えられ、災害対応であれば表 3 に示す性能が必要となります。半導体不足は解消されつつありますが、建築設備の納期や部品交換による修理が遅くなっています。変動の激しい半導体業界の中での安定的な部品供給を図る必要があると考えます。そこで有志により高性能 PC による IT プラットフォームの構築を目指して、NPO AMATERAS が設立されています [28]。

６．おわりに

建築・土木という分野はヒトが定住生活を始めた際に、本格的に取り組まれるようになったと思います。建築設備は、最初は自然を利用して雨宿り用の部材を考え出し、穴居生活を始める人々も出てきた頃から考えられたのでしょう。余剰の収穫物を貯蔵する建物とヒトを守ると考えられた自然を祀る建物も必要となったと思います。農作物や飲料のための水を近くまで持ってくる施設などの社会インフラも整備されて行きます。

キャンプを終えて帰宅すると、ヒトの歴史の中での建築設備の変化が実感できます。蛇口をひねれば安全な水が出て、スイッチを入れれば電気・ガスがつきますが、電灯は 1882 年に初めて点灯し、水道事業は 1887 年に始まりました。機器を使った冷房は 1906 年にアメリカで始まりました。多くの人が当たり前と思う生活は 150 年位しか経っていません。東日本大震災の際もこの事実を思い知らされました。

これまでの先人の働きと苦労の恩恵をわれわれは受けています。ヒトが住まう環境を、どのように維持・管理していくのかを考えねばなりません。これから何が起こるのかははっきりとは分かりませんが、それに備えねばなりません。

続く「その２」では、ここまでの議論を受けて、将来を担っていく人材の育成と将来の社会の方向について述べます。

参考文献

1）内海康雄：伝承「建築設備と IT のこれまでとこれから」、空気調和衛生工学、第 97 巻第 1 号、空気調和衛生工学会、2023.1
2）東日本大震災合同調査報告：建築編 8　建築設備・建築環境、日本建築学会、2015
3）WHO の健康の定義：https://www.who.int/data/gho/data/major-themes/health-and-well-being（2022.7.5 時点）
4）国連開発計画の HDI：https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI（2022.7.5 時点）
5）JICA 緒方研究所レポート「今日の人間の安全保障」：　国際協力機構　緒方貞子平和開発研究所、https://www.jica.go.jp/jica-ri/ja/index.html（2022.7.5 時点）
6）講座“換気通風・気密性”第 1 回～第 5 回：空気調和衛生工学会、2005.1～6
7）HASP：建築設備技術者協会、https://www.jabmee.or.jp/hasp/（2022.7.5 時点）
8）The BEST Program：住宅・建築 SDGs 推進センター、https//www.ibec.or.jp/best/（2022.7.5 時点）
9）METRO WEATHER：https://www.metroweather.jp/（2022.7.5 時点）
10）H・コリンズ、R・エヴァンズ／著　奥田太郎／監訳　和田慈、清水右郷／訳：専門知を再考する、名古屋大学出版会、2020
11）木嶋恭一、中條尚子、マイケル・C・ジャクソンほか、ホリスティック・クリエイティブ・マネジメント：21 世紀 COE プログラム:エージェントベース社会システム科学の創出、丸善、2007.3
12）佐藤允一：問題構造学入門　知恵の方法を考える、ダイヤモンド社、1984
13）ポーラ・アンダーウッド著、星川淳訳、一万年の旅路 ネイティヴ・アメリカンの口承史、翔泳社、1998
14）開本浩矢、和多田理恵：クリエイティビティ・マネジメント 創造性研究とその系譜、白桃書房、2012、このほか多数あり
15）R.J. Sternberg, Handbook of Creativity, Cambridge University Press, 1990
16）野中郁次郎著、竹内弘高著、梅本勝博訳：知識創造企業、東洋経済新報社 1996
17）入山章栄、世界標準の経営理論、ダイヤモンド社、2019
18）ヴィジェイ・クーマー著、渡部典子訳：101 デザインメソッド 革新的な製品・サービスを生む「アイデアの道具箱」、英治出版、2015
19）佐藤文隆、「民主主義」、そして科学、現代思想 2015,vol.43-17、青土社、2015
20）国際技学カンファレンス、https://www.nagaokaut.ac.jp/project/sgweb/IGCN.html、長岡技術科学大学（2022.11.20 時点）
21）Yasuo Utsumi、THE GENERAL IDEA OF GIGAKU、The International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN) 、2015.6
22）住まいと環境 東北フォーラム編、サステナブルな住まいを目指して プロフェッショナルからの提言 Part 2、技報堂出版、2022
23）宮城県東松島市のスマート防災エコタウン、http://hm-hope.org/?page_id=286（2022.7.3 時点）
24）（一社）新エネルギー財団、地域に根差した持続可能な自立分散型エネルギー活用の実践、https://www.nef.or.jp/award/kako/r03/s_01.html（2022.7.3 時点）
25）NATO Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020-2040　Exploring the S&T Edge, 2020, https://www.sto.nato.int/publications/Management%20Reports/2020_TTR_Public_release_final.pdf（2022.7.3 時点）
26）牧本次生：日本半導体復権への道、ちくま新書 1616、p.47、2021
27）経済産業省：半導体戦略（概要） 2021 年 6 月、https://www.meti.go.jp/press/2021/06/ 20210604008/20210603008-4.pdf、2021
28）特定非営利活動法人 AMATERAS（アマテラス, Advanced Massive Architecture of Technology, Education and Research Accelerating System）, https://amateras.tech/（2022.12.25 時点）

（2022.12.9 受付）