

2050年に誰もが柔軟に暮らせる「場」を実現するための課題と今後の技術開発

Subjects and Future Development to Realize the Place where Everyone Can Live Flexibly by 2050

今西 美音子 Mineko Imanishi*1

梗概

本稿では、内閣府が主導する「ムーンショット型研究開発」の新たな目標として筆者らが提案した将来ビジョンの中から、今後望まれるであろう建築のかたちについて紹介する。まず現在の社会課題として、建物は変更のサイクルが長く、社会変動や個人のニーズ変化または情報技術などの先端技術と変化速度に齟齬があることを挙げた。一方、情報技術を取り入れることで建物が個人のニーズに合わせた柔軟性・可変性を得られる可能性に触れ、技術開発の目指すべきビジョンとして提案した。実現には可変性を実現する個別技術や人－建物間のユーザーインターフェイス設計の開発が必要となると考える。

キーワード：未来の建築，デジタルツイン，アジャイル建築，コモングラウンド

Summary

This article presents an ideal form of architecture in the future and technical issues against its realization from the report for a new Moonshot goal, on which the authors worked the last year. As a current issue, buildings have a long change cycle discrepant with the updates of society, individual needs, and advanced technologies. Meanwhile, buildings would become more flexible and variable to meet individual needs by incorporating information technology. It can hence be proposed as the vision to aim for technological development. The realization will require investment in various domains; such as technologies for physical variability and human-building interface design.

Keywords: future building, digital twin, agile building, Common Ground

1 はじめに

1.1 2050年の建築の姿を考える

ものづくりの将来を支える技術開発において、現在直面する課題に対峙した即時性の高い開発と並行して、来たる社会を見据えた長期的なビジョンの検討も求められる責務である。社会にとって善い技術開発を促進するには、実施者が理想とする未来を積極的に描き、ステークホルダーと共感を持ってビジョンを共有することで、その描いた未来に社会を牽引することが求められる。

筆者らは2021年に、内閣府が主導する「ムーンショット型研究開発制度」に追加すべき新たな目標を提案¹⁾する機会を得た。ムーンショット型研究開発制度は「重要な社会課題に対し、人々を魅了する野心的な目標を国が設定し、挑戦的な研究開発を推進する」²⁾ 制度である。これはまさに、技術開発を牽引するために理想となるビジョンを描いて共有する手法である。この新たな目標の提案は公募形式であり、エネルギー資源の分散化や気象の制御など工学的な課題から海洋資源やダイバーシティなど社会的な課題までの多彩な課題提案があった。その中で筆者らは、まちや建物と情報基盤が一体化した社会インフラのあり方についての提案³⁾を行った。筆者らの提案は採択には至らなかったが、最終評価対象にまで進み最終順位は129提案中4位と高い評価と反響を得た。

本稿では、その新たなムーンショット目標として筆者らが検討・提案した2050年のまちや建築の中から、来たる社会で望まれる建築のかたちについて再構成して紹介する。

*1 技術研究所 研究主任 博士（人間科学） Senior Researcher, Research & Development Institute, Ph.D. (Human Sciences)

1.2 建築をめぐる社会的背景

私たちは質量を持った存在としてフィジカル空間（実空間）に生きている。そして現在に至るまで私たちが暮らす建物空間は、建設時の綿密な計画をもとに建造されてきた。大型の構造物であるフィジカルな建築は変更も容易ではなく、完成後は何十年と使われるのが通常である。翻って、近年の情報技術の進化はめざましく、ソフトウェアはインターネットを通じて常に最新のものが供給され続け、IoT機器などの情報技術を活用した設備はハードウェアであっても数年で陳腐化してしまう。また経済活動や個人で要する空間も、社会情勢や個人のライフステージにより本来は変化するものであり、固定的なフィジカル空間はこの変化に対応しきれず時と共に使用に不便を生じるようになる。さらに、今回のコロナ禍のような突如として今までの生活から変更を強いられる災害リスクも、固定的なフィジカル空間において課題であることが露呈した。

私たちの空間の使い方や選び方も変化する。2050年には全国の居住地域の約半数で人口が50%以上減少すると見込まれており⁴⁾、人口が増える一部の都市部を除き、多くの地域・地方が人口減少という課題を突き付けられている。またそれに伴い空き家問題も深刻化⁵⁾している。一方、2019年から本格的に施行され始めた働き方改革⁶⁾にも象徴されるワークライフバランスに対する価値観の変化やコロナ禍で促進されたりリモートワークの普及を契機に、都心の高額で狭隘な空間を離れ新たな暮らし方を求める地方への転出も見られ始めた。自宅やシェアスペースからのリモートワーク、またはオンラインショッピングやゲームは、従来の空間の距離や意味づけを更新したといえる。

私たちの暮らしの場は社会的にも技術的にも転換期を迎えており、今一度将来のあり方を捉え直す時期に差し掛かっている。変化が加速していく社会で誰もが時々合った暮らしを実現するには、多様な人のニーズや感情をも踏まえたフレキシブルな空間の構築が必要と考えられる。

2 Flexインフラの提案

2.1 ムーンショット・ミレニア

ムーンショット型研究開発は2020年時点で7つの研究課題が設定され動き始めていたが、コロナ禍などによる社会情勢の変化を受けて1ないし2課題の新規追加が内閣府により計画された。2021年に実施されたこの新たなムーンショット目標の検討プログラムは「ミレニア・プログラム」と名付けられていた。「ミレニア」という名称が示すように、このプログラムでは既設の7課題とは趣向を変え若手研究者による自由なアイデアが期待され公募形式となった。2020年末にこのプログラムへの参加が公募されると、研究機関や民間企業など様々な機関から129の提案が挙がった。その中から21の提案が採択され、この21チームにはそれぞれの提案の課題やその解決に向けたシナリオの検討のために2021年1月から6ヶ月の調査研究期間が与えられた。検討では、30年後となる2050年に実現したい社会像を設定し、さらに現在の技術を整理することで、そこからバックキャストでこれから研究開発が必要となる技術について論じることが求められた。検討内容は調査研究報告会での発表と報告書の形で提出され、それをもとに有識者などの評価を経て新規に追加する2課題が決定されるに至った。

2.2 Flexインフラ

筆者らのチームは、多様性が享受され災害にも動じず技術革新や社会変化にも柔軟に対応できる都市・まちを2050年の社会像として掲げ、その実現に必要な建物等のハードとそれを制御するソフトやセンサーが連携する自律進化型基盤「Flexインフラ」を提案した。当チームは、21チーム中唯一の民間企業の研究者がリーダーを務めるチームであり、構成はチームリーダーである筆者を含む株式会社竹中工務店のほか、国立大学法人電気通信大学、Avanti R&D, Inc., TIS株式会社、株式会社KDDI総合研究所、エム・ティ・プランニング株式会社という、建築や都市と情報の2領域を包含する多彩なメンバーから成った。研究調査では多様な価値観を俯瞰するためのアンケート調査や国内外の先進事例調査、オンラインシンポジウムでの討議などを通じて、各メンバーの専門的な視点からこの社会像実現の技術的課題を検討した。

私たちが描いた2050年は、個人や社会のニーズに合わせて柔軟に・タイムリーに環境を変えられる空間により、それぞれが好きな場所で好きな暮らしを送ることが

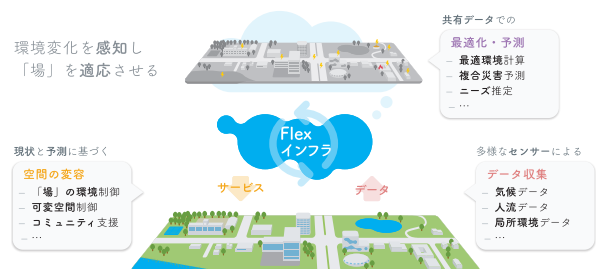


Fig. 1 Flexインフラの概念図
Concept diagram of Flex-Infrastructure

できる社会であった。それは、変更が容易で、状況に合わせて環境を調整し、ときには形状さえもダイナミックに変化させる柔軟性の高い建物空間と、人々や社会の「今」のニーズを把握できるオープンな情報インフラによって実現される。これが私たちの目指す人間中心のフレキシビリティの高い空間と情報のインフラである (Fig. 1)。

2.3 資するべき4つの観点

Flexインフラは、以下の4つの観点から暮らしの場を豊かにすることを目指している。

- ・ Diverse：多様な状況の人が幸せを享受できる
- ・ Selectable：生活スタイルを選択できる
- ・ Customizable：好みの空間に変更できる
- ・ Stable：災害で生活が脅かされない

これは、多様性があるがままに認め、さらに利用者に主権を与える状態であるといえる。近代産業の量産とマスコミュニケーションの発展は我々の生活を豊かにはしたが、一方で人々の主体性を奪いお仕着せのフレームに嵌めてしまった側面もある。元来人はもっと多様であり、フレーム（例えば建築）に私たちを嵌めるのではなく私たちにフレームが沿うべきである。一方で、そのためには利用者の主体性も求められる。「あれがしたい」は利用者自身から湧き上がる願望であり、個々人で異なるニーズは自ら求めることでそれが獲得できる。自らの手で自らの場を改変することは自己効力感に繋がり、そのような場と利用者の間には愛着が生まれる。しかしながら、すべてを能動的に選択し続ける生活は困難であり疲弊してしまう。それをときに察して自律的に柔軟に寄り添えるやさしい空間が技術の力で実現できないだろうか。また、日々の暮らしの喜びは災害や脅威で生活が脅かされない安心感を以てして初めて得られるものであろう。

つまり、この4つの観点こそが我々が社会において追い求めるべきものであり、技術開発はこの4つの要素に資するべきであると定義した。そしてその達成には建物というインフラの柔軟性が必要となると考えた。

2.4 社会的意義

この提案の目的はすべての人が関わる仕事・暮らしの「場」の改善である。多様性を許容し、暮らしの変化を受容できる社会は、将来においても普遍的に求められるものである。また災害に堅牢で安心して生活を送ることができる社会は、災害大国でもある日本においてすべての人の望みである。

私たちの暮らしに密着する建物・まちというフィジカル空間の革新的な進化は、生活の利便性の向上をもたらすのみではない。それぞれ「居たい場所」を得られることや「自分の好みに」自らがカスタマイズできることは、自分の暮らしと場に愛着を生み、幸福感とwell-beingな暮らしを育む。単なる懐古主義でなく、高度な技術的投資で機能性を高めることで、人の幸せに資する人間中心の「場」を実現できる。

3 2050年に目指すシーン

ムーンショット・ミレニアでの検討では、技術調査と並行して、我々が目指す技術進化が実現したときの具体的な「シーン」を描き目指すビジョンの共有を図った。およそ30年後となる2050年の、柔軟な空間でおくる私たちの暮らしはどのようなものであろうか。

3.1 多様な生活ニーズに応える可変空間で構成された建物

柔軟な建物が普及した社会では、状況に合わせて空間が人に寄り添い環境を最適化する。

建物や部屋はソフトウェアで管理されるようになり、利用者のバイタルデータや行動・好みなどの個人データと、天候や流行といった外的なデータを合わせて、利用者が「今」必要とする環境を整えてくれる。例えば、天気の良い日は居住者の体調が良さそうなら自動で窓を開けて外光と空気を取り込み、目覚めを促す。テラスでコーヒーが飲めるように室内のテーブルが自動でテラスに移

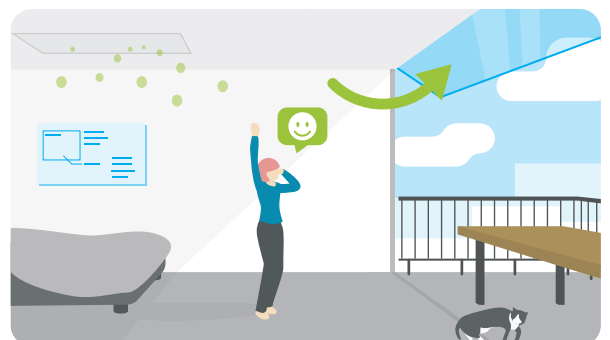


Fig. 2 状況に合わせて可変する空間
Space that transforms itself according to the circumstances

動する、なんていうのも良いだろう。このとき、裏ではセンシングで得られた利用者の居場所や部屋の形状や部材、気候などに合わせた高度なシミュレーションをソフトウェアが行い、最適な室環境を導き出して空調機器を制御する（Fig. 2）。

空間や人の情報をソフトウェアがふんだんに持ち、フィジカル空間の可変性も大きいと、人の能力に合わせた場所の提供も容易になる。車椅子利用者にはフラットで十分な移動領域を提供し、視覚に障害がある人には「今」の空間情報をその人が持つデバイスに提供することで、初めての場所でもひとりで快適に移動できる。

可変性の高い空間は利用用途によって異なる環境の提供も可能である。飲食店やオフィスでの打ち合わせのときは、利用人数によって間仕切りが動くことで各個室のボリュームが変化し、プライバシーを保って利用ができる。そのときの用途によって柔軟に空間を変えられることで建物の共用もしやすくなり、昼は職場・夜は社交スペース、のように同一空間の時間による用途変更も可能となる。

時代によって移り変わる生活スタイルや働き方の変化にも、この空間は柔軟に対応する。まちの広場や建物の内部は、短期間で容易に変更ができるようになっていく。これは、建設のユニット化や将来の変更をあらかじめ考慮した建物設計に加え、オンデマンド生産の整備や空間を環境と合わせて3次元データで管理する情報インフラの恩恵が大きい。これにより、店舗として整備した空間を住居に転用することや、個人による室内のしつらえの変更、IoT設備の交換なども容易となる。

さらに、用途の変更により建物を安易に建て直すのではなく、一つの建物を、そのときの先端技術を十分に使いながら利用者のニーズも満たし、長期に利用することも可能となっている。このような柔軟な建物空間は真新しい建築ばかりではない。それぞれの地域にある建物ストックを時には活かし、また新しく建設する建物も経年への配慮をすることで将来には時代を経た質感を纏い、意匠スタイルも選択肢が広がる。例えば、古いながらも優れた意匠性を有する古民家を改装して情報設備を実装することで、これまでの歴史を継承しつつ最新技術の利便性を享受できるサイバー空間とも融合したフィジカル空間での生活が可能となる。

多様なライフスタイルと嗜好がある中で個人が積極的に自分の暮らしの場となる空間を選び働きかけることができるようになり、それぞれの人にとって最適な空間を創造することが可能となる上に、このような空間と利用者の対話ともいえる関係により自分の暮らしの場に愛着を感じ生活における精神的な充実感をも得られる。

3.2 オープンな情報インフラと高いモジュール性によって広がる多彩なサービス

ソフトウェアによる柔軟な空間の最適化には、その判断材料となる高度な予測や「今」を捉える様々なセンシングデータが必要となる。一方で、多岐にわたるデータの取得は一企業では為し得ず、複数の機関が取得した多種多様のデータを自由に利用できる循環が不可欠となる。この社会では個人のデータを一企業やサービスに委ねることなく、個々人が自己に関するデータの全てを俯瞰して管理できるようになる。またセンシングした一次データを高度に統合し新しい予測データや最適化データを販売したり、そのデータを用いたサービス・ソフトウェアの提案をしたりといった新規事業の参入も自由に行える（Fig. 3）。一企業や幾つかの企業の連合による閉じたデータ・API共有ではその企業内の技術や領域を超えるサービスは現れない。自由に使える多様なデータの存在により、新たな発想での想定もしていなかったサービスの展開や、特定地域の住民のニーズを満たす地域限定サービスの出現も期待できる。

同様に建物空間においても、フィジカル空間のAPIともいえる接続部のモジュールを整備することにより、個人レベルでもそれに適合する建具や什器の作成が容易となり、またメーカーを跨いだ設備の取り替えも容易となる。例えば、建物玄関の鍵を後からスマートロックに変更したり、照明スイッチをIoT照明と連動したものに変更したりすることは現在では容易ではない。苦勞して取り付けても3年後には別の概念の電子錠が他メーカーから出現するかもしれない。建築やソフトウェアにあるモジュールの概念を空間にあとから設置する変更サイクルの早い機器・什器にも広げることで、設備や建物、IoT機器のメーカー間の競争力が高まるとともに、利用者にとっても「新しく発売されたあの製品は、私の部屋には使えない」といった不満がなくなり、フィジカル空間の設備の更新が促

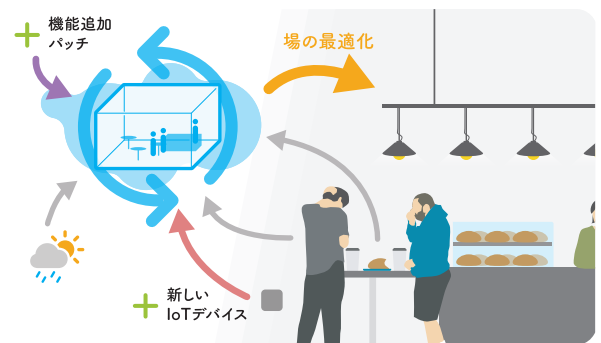


Fig. 3 オープンなデータ利用によるサービスの自律進化
Autonomous evolution of services through open data use

される。オープンなデータにより建物空間の三次元仕様と拡張性のある箇所の規格が分かるので、個人が什器設計データを販売し、それを別の人が設置する部屋に合わせて自分なりのカスタマイズを加えながらオンデマンドメーカーに発注して自分の空間に取り付ける、このようなことが日常に行われるようになる。

4 柔軟なフィジカル空間に繋がる技術動向

2050年のビジョンとして、私たちの暮らすフィジカル空間である建築が柔軟性を持つことと、それにより達成される利便性や多様性を描いた。この柔軟なフィジカル空間とは、空間を構成する建物要素の変容と、様々なセンシング情報や人のニーズによる空間環境の制御により達成される。また変容と制御には、情報技術を用いた完全自動の自律的な変容、人の操作による自動変容、さらに人の手による環境の変更といった複数の方法が考えられる。

フィジカル空間を変容させるには、空間の構築自体を容易にすることをはじめ、間仕切りや家具の移動や変更、映像投影などの設備や電気的な材質の変化で室内環境を変容させる技術が要素として挙げられる。さらに柔軟性を高める方法としては、サイバー空間の活用もある。フィジカル空間とサイバー空間を融合させ、その境界を感じさせない空間を形成することができれば、サイバー空間も生活空間の一部として溶け込ませることができる。

では、これから30年で描いているような社会の普遍化は達成できるのだろうか。それとも荒唐無稽な夢物語なのだろうか。我々が描く社会の萌芽となるような、未来に繋がる現在の技術をいくつか挙げてみたい。

4.1 柔軟な空間カスタマイズ

建築物は生産が容易ではないため、予測できない社会情勢やニーズの変化に合わせた短期での建設や改修が難しい。

生産工程を簡単にするためにはユニット化やモジュール化などが発展してきている。近年では、輸送に用いられるコンテナを活用したユニット化建築や、ユニット化した部品を積み上げることで高層ビルを超短期間に構築するような事例（例えば29時間で建設された10階建てアパート⁷⁾や、10日間で建設された大規模コロナ用病院⁸⁾など）も出現し始めている。

建築躯体はそのまま利用し、ニーズ変化への適応がより求められる内装部分の改修を容易にすることも考えられる。日本でもメタボリズム建築と呼ばれる将来のユニット交換を考慮した建築物が前世紀に先進的に作られたが、実際のユニット交換には至らなかった。また、耐久性を重視する構造躯体と柔軟性を要する間取り部分を分けて考えるスケルトンインフィル建築⁹⁾も考案されているが、その後普及するまでには至っていない。コンセプトとしてはあったものの、技術的に時代が追いついていない状態であったといえる。

近年の生産における革新技術としては3Dプリンタが挙げられる。3Dプリンタは素材にプラスチックを用いた小ぶりの工業製品に対してのみだけでなく、大型の建物にも適用可能な無機材料や金属材料を用いた技術の開発が進んでいる。例えば、無機材料ではモルタル積層による人が居住可能な建物が3Dプリンタで試作されている¹⁰⁾。金属材料においても、金属溶接による3Dプリンティング技術によって自由な接合部を作成した事例や、粉末による金属3Dプリンタでジョイントパーツを成型した人力で組み立て可能な移動式シェルターが作成されている¹¹⁾。

ニーズに合わせた建築空間の変容事例としては、2000年代に都市の空洞化対策として、都市部の収益性の低い既存のオフィスビルから定住者を呼び込むマンションへのコンバージョンとそれに関する技術開発が行われた。近年では、文化資源を活かして建物全体に残る装飾や建具を保存しながらイノベーションを促すシェアオフィス空間の創出なども行われており、堀ビル¹²⁾はその代表例といえる (Fig. 4)。



Fig. 4 既存オフィスビルの歴史を活かしたリノベーション事例 (堀ビル)
A case of renovation of an office building featuring its history (Hori Building)

4.2 フィジカル空間の動的な変容

1日の中での空間利用の変化のように、より短時間の空間変容としては空間を動的に変更する技術が考えられる。さらに、環境に即したソフトウェアでの制御を実現するには、その変容を自動化する必要がある。

現状の建物でも、すでに可変・可動しているものは多い。例えばエスカレータやエレベータがそうであるし、回転レストランや可動橋、ドームスタジアムの屋根の開閉など大小様々である。建物と同規模の飛行機や客船はまさに動く建造物であり、またそれらを整備するメンテナンスドックにおいても、整備用の足場が可動し連結するような仕組みが組み込まれている。このように、巨大な構造物が可変すること自体はすでにあちこちで行われており、技術的に不可能なものではない。一方、これが簡単に行えるか、という点ではまだ技術的な課題は多い。

翻って、建物内部に目を向けると多くの什器類がある。近年、物流倉庫などで自走式ロボットが活用されているが、それらを什器類の移動に活用することは技術的にも十分可能であろう。海外ベンチャーにおいては、大型の什器を自動制御で動かすことで生活空間を変容させるようなシステム¹³⁾ (Fig. 5) をすでに販売している企業もある。



Fig. 5 Ori社による什器が可動するアパート¹³⁾
Apartment with movable furniture by Ori, Inc.

4.3 空間環境の変容

建物内の環境の質的な変容としては、プロジェクションマッピングや高精細モニターなどの活用が考えられる。画面を更新するときのみ電源が必要でそれ以外は紙と同様に消えずに残るE-Inkも大型化しており^{例えば14)}、これを壁紙に活用すれば、その日の雰囲気に合わせて模様の変更を行いつつ、災害時には適切な避難指示を出すことも可能になるだろう。また海外においては、横断歩道や道路標識に情報を直接表示し時間帯の交通量に応じた変化をさせることも、すでに実証実験として行われている^{例えば15)}。

室内環境を動的に変容させる先進的な事例としては、2019年に竹中工務店が設計施工した実験的建築EQ House¹⁶⁾ (Fig. 6) がある。この建築は、センシングにより建物内環境を感知して、例えば人が来た時に透明だったガラスが曇ったり、さらにはスマートウォッチで快適な環境であることを「いいね」することで建物がその状況を人間が心地よいと学習する機能などが備わっている。建物が利用者を気遣い寄り添いながらもコミュニケーションを取り相互の関係性を作るコンセプト事例といえる。



Fig. 6 EQ Houseの内観
Interior of EQ House

4.4 サイバー空間とフィジカル空間の接続

ソフトウェアによるフィジカル空間の制御やフィジカル空間への介入には、フィジカル空間を情報として解釈するためにフィジカル空間の双子となるような、同期するサイバー空間を持つことが望ましく、この概念は「デジタルツイン」と呼称され近年整備が始まっている。日本が目指す未来社会であるSociety 5.0¹⁷⁾ でも、「サイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靱な社会への変革」が提言されており、IoTによってサイバー空間に収集蓄積されたセンシング情報を分析し、フィジカル空間にフィードバックする取組みが進められている。

建設分野での活用は例えば、デジタルツインの両空間の活用を促進する構想「コモングラウンド」¹⁸⁾ (Fig. 7) が

発表されている。コモングラウンドは、デジタル空間とフィジカル空間を媒介する領域であり、この両空間を高解像度かつリアルタイムに双方向で接続するシステムである。フィジカル空間のジオメトリや環境データなどを、人間やデジタルエージェント間で共有することを目指す。2021年にはその実証実験空間であるコモングラウンド・リビングラボ¹⁹⁾も整備された。

フィジカル空間からサイバー空間に接続する一般的な技術としては、ヘッドマウントディスプレイ等を用いてサイバー空間に没入感のある視覚映像を体験させるVR (Virtual Reality) 技術はすでに普及し始めている。さらには、フィジカル空間にCG等の情報を重ねた視覚を提供するAR (Augmented Reality) 技術や、これらを経て発展してきたフィジカル空間のカメラ画像やセンシング情報をサイバー空間に反映するMR (Mixed Reality) 技術もある。これらを総称したxR技術は、サイバー空間とフィジカル空間を繋ぐだけでなく、両空間の境界を取り払う。

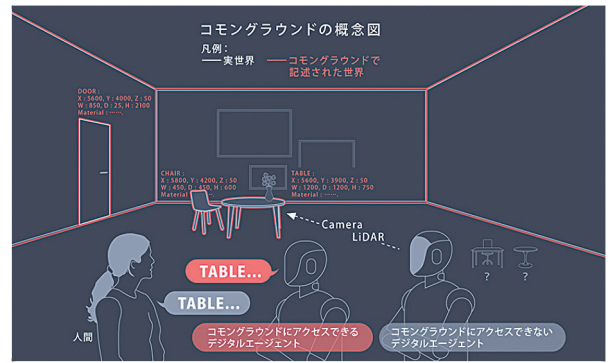


Fig. 7 コモングラウンドの概念図¹⁹⁾
Concept of the Common Ground

5 柔軟なフィジカル空間実現に求められる技術開発

4章では、柔軟なフィジカル空間の実現に寄与できると考えられる現在の技術を挙げた。一見すると柔軟なフィジカル空間は「すでに実現している」ようにも見える。あとは新規技術のコスト低減と普及を待つばかりであろうか。しかし、例示したのはあくまで要素技術であり、これらを以て冒頭に掲げたような社会像の実現とはいえない。求められるのは、技術が日常に溶け込み、誰もがストレスなくそれらを活用することで生活を豊かにし、2.3節でも挙げたDiverse, Selectable, Customizable, Stableを享受できることである。実現にはまだ乗り越えるべき技術課題が残っている。

普及のための技術課題としてはコスト削減や導入の簡易化、または建築での実用化に伴う更なる要素技術開発などもあるが、それよりも高次の、フィジカル空間が柔軟性を持つという新たな局面のために必要となる領域を本章では述べたい。

5.1 技術を統合した体験の実現

目指すのは体験の向上である。4章で挙げたような萌芽がある、または新規に開発する要素技術を統合して、描いたような社会像を実現するためには、要素技術を統合したシステムの設計が必要となる。要素技術をパズルのように繋げても良い体験は生まれない。空間を利用者が思いどおりに変形・制御するためには、手動での変形・制御であれば利用者によるカスタマイズを容易にするシステムやサービスの確立、自動での変形・制御であれば変更対象の選定や制御のアルゴリズムなどが要るであろう。

人のニーズを制御のトリガーとする自動制御として、例えば、「暑くて不快」という状況を空間の変容で解決することを考えてみる。まずその人が暑くて不快であることはどうやって判断するのか。バイタルデータか、その人がいる空間のセンシングか、またはその人の好みの設定値か。本人がジェスチャーや発話で伝える方法もある。またその解消も、窓を開けて風を通す、逆に日射を遮断し日影を作る、空調設備を稼働させる、暑くない別の場所への移動を提案する、など複数の方法が考えられる。それらを組み合わせても良い。多岐にわたるセンシング技術やデータからの推定アルゴリズム、また最適化のための空間変容技術やその組み合わせのアルゴリズム、IoT機器やそれを繋ぐソフトウェアとの連携がある。また、もしかしたらその人の隣には寒がりの人がいるかもしれない。このような技術開発には、要素技術開発にもフィードバックをしつつも、全体を俯瞰してシステムをデザインする必要がある。

5.2 建物環境の制御UI (ユーザーインターフェイス)

空間が柔軟性を手に入れ利用者によって制御可能となっても、その操作性が悪くニーズに合わせた変更ができなければ、暮らしを豊かにしたとはいえない。さらに、操作した際の「心地よさ」も欠かすことができない。利用者とアプリケーションなど操作対象物との界面を主にソフトウェア工学の世界でUI (User Interface) と呼ぶ。このUI

を適切に設計することはソフトウェアの操作性の要であるが、高度な可変性を持つ建物においても、利用者と建物操作のUIを考える必要があるだろう。

設備については専用のコントローラやスマートフォンアプリと連携した操作が一般的だが、今日ではセンシング技術を用いたジェスチャーによる操作や自然言語による対話的な操作も実現している。2020年から日本でも義務教育でのプログラミング教育が必須²⁰⁾となり、将来の世代は機械へのさらに複雑な指示が平易に行えるようになることも期待できる。

iPhoneなどを手がけるApple社は2021年の技術者会議（WWDC）で次期OSでのスマートホーム連携の強化を打ち出し、複数のIoTデバイスを統合した一体の体験と制御の進化を謳った。UIについても独自のガイドラインを設け、それら設備をApple社のデバイスを通じて操作する際のデザイン思想についてまとめている²¹⁾。空間や設備それぞれの可変性の確保のみでなく、それらを統合したときの利用者から見た体験設計の重要性がうかがえる。しかし、現状のIT業界や機器メーカーが主導するスマートホームは、主に後付けしたIoTデバイスの操作に止まり、空間そのもののダイナミックな可変性にまで議論には至っていない。

操作系の提示やフィードバックにおいても、建物という3次元空間を画面という2次元で提示することは難しい。例えば、スマートフォンなどの個人所有デバイスだけではなく壁面や実空間上に情報が映し出されれば、複数の人が感覚的に共有可能な形で情報を受け取ることができる。新しい形での建物と利用者の相互作用といえるが、制御できる選択肢の粒度や提示のタイミングなど、設計すべき項目は多い。建築学では建具の使いやすさやサイネージの視認性、さらには審美性など建築に付随するモノの研究や議論はされてきたが、ソフトウェアやサイバー空間を交えた操作性やその実装にはまだ議論が浅い。

これら日進月歩の新技术を用いての「空間の動的制御」という過去にない事象の制御については、新たな研究開発が必要となる。またそのときには主体となる建築分野の参与が求められる。

5.3 サイバー空間の染み出したフィジカル空間

4.4節でも挙げたように、私たちのこれからの暮らしにはサイバー空間が入り込んでくる。フィジカル空間での交流を一部サイバー空間で代替することで各個人や企業の拠点の制約が減り、拠点選択の可能性を広げることにつながるが、現時点では、これらサイバー空間に接続するデバイスや五感通信技術、また前述のコモングラウンドのようなフィジカル空間をサイバー空間から扱う技術の開発が進む一方、サイバー空間での交流をするのに最適なフィジカル空間自体の検討や整備は十分でない。サイバー空間で交流をするときも、私たちはフィジカル空間に存在する。そのとき、VRゲーム部屋のような没入するための専用空間がフィジカルにも必要なのか、または日常生活を送るフィジカル空間にサイバー空間が重ねて投影されるのか。虚像の混じった視覚での動作には安全性確保も必要であろう。サイバー空間の状態にフィジカル空間も動的に追従することでより高い没入感が得られるかもしれない。実際の住居・オフィス、またはスタジアムのような大型空間でサイバー交流を実施するためのフィジカルなしつらえ・設備などについての研究と実証が必要である。

6 おわりに

2021年の筆者らの調査研究では「2050年までに、柔軟な「場」で誰もが安全で幸せに暮らせる社会を実現」することをムーンショット目標として提案した。これは、私たちの生活の場である建物・まちというフィジカル空間の利便性を向上させることで、我が国に暮らす人々の場所や状況による格差を是正し暮らしを豊かにする提案である。

本稿ではその提案の中から、フィジカル空間を柔軟にするための技術開発を中心に紹介し論じた。この社会像実現に必要な開発技術として、現在の課題や国内外の技術動向から以下を挙げる。まず、「場」の柔軟性の実現のために建物空間の可変性を高める研究開発と、拠点選択の柔軟性を高めるためにサイバー空間の利便を取り込んだフィジカル空間整備が必要となる。また、その時々状況に即した「場」を提供するためには、状況を感じしそれを「場」に反映させるアルゴリズムとUIが必要となる。高齢者や障がい者を含めた様々なユーザを想定し、ユニバーサルデザインやインクルーシブデザインの観点を持った開発が求められる。

さらには、この社会が実現した際の人々の拠点選択のあり方や地域の連携のあり方、住民の幸福に寄与し住民に受け入れられるサービス提供のあり方など、建物技術や通信技術などの工学分野のみならず、これら技術と人を繋ぐ心理学・社会学の観点も開発においては欠かすことはできないだろう。また、このような技術は当然ながら現行の法体系ではカバーされておらず、関係省庁との法令対応に関する協議も必要となる。

この社会像を実現するために研究開発が求められる分野は多岐に及ぶ。各業界が連携をしながら目標に向かって技術開発を進め、目先の経営保守に走らずにオープンなデータ共有と技術を相互利用できる環境を醸成することで従来にないサービスを生み出し、住民の幸福に資する技術とすることが大切である。

参考文献

- 1) 科学技術振興機構：「ムーンショット型研究開発事業 新たな目標検討のためのビジョン策定 ミレニア・プログラム」, 2021年, <https://www.jst.go.jp/moonshot/program/millennia/> (参照 2022年9月)
- 2) 科学技術振興機構：「ムーンショット型研究開発事業について」, 2020年, <https://www.jst.go.jp/moonshot/jigyuu.html> (参照 2022年10月)
- 3) 今西美音子ほか15名：ムーンショット型研究開発事業新たな目標検討のためのビジョン策定「柔軟で安心な「場」と多様な幸せのカタチを実現するFlexインフラに関する調査研究」調査研究報告書
- 4) 国土交通省：「2050年の国土に係る状況変化」, 2020年9月, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001361256.pdf> (参照 2021年7月)
- 5) 国土交通省：「空き家の現状と課題」, 2021年6月, <https://www.mlit.go.jp/common/001125948.pdf> (参照 2021年7月)
- 6) 厚生労働省：「働き方改革～一億総活躍社会の実現に向けて～」, 2019年4月, <https://www.mhlw.go.jp/content/000474499.pdf> (参照 2021年7月)
- 7) Dailymail：Chinese builders construct ten-story apartment block in 29 HOURS, 2021-06, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-9716291/What-wrong-Chinese-builders-construct-ten-storey-apartment-block-29-HOURS.html> (Accessed 2021-06).
- 8) 江村英哲：「大規模コロナ用病院10日間で建設」, 日経XTECH, 2020年3月, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00154/00832/> (参照 2021年6月)
- 9) 笠井浩, 親本俊憲, 柳橋邦生, 佐藤秀雄：「資源循環型住宅技術開発プロジェクト技術成果概要」, コンクリート工学, 41巻, 12号, pp.3-10, 2003年
- 10) 寺町幸枝：「3Dプリンターの家」2021年最新事情！ ついにオランダで賃貸スタート, 日本も実用化が進む」, suumo, 2021年6月, <https://suumo.jp/journal/2021/06/24/180708/> (参照 2021年6月)
- 11) 「PENTA-HARD」, 新建築, 6月号, pp.154-161, 2021年
- 12) 「堀ビル保存活用事業」, 新建築, 6月号, pp.148-153, 2021年
- 13) Ori, Inc.：Ori, <https://www.oriliving.com> (Accessed 2021-06).
- 14) E Ink, 「E Ink | 建築, 空間設計」, <https://jp.eink.com/architecture.html> (参照 2021年7月)
- 15) Umbrellium Ltd.：Starling Crossing, 2017. <https://umbrellium.co.uk/projects/starling-crossing/> (Accessed 2021-07).
- 16) ココジカ, 「デジタル技術が生む暮らし「EQ House」を体験する」, 2019年6月, https://www.sunwood.co.jp/sunwoodclub/webmagazine/magazine_201906.html (参照 2021年6月)
- 17) 内閣府：「Society 5.0」, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/ (参照 2021年6月)
- 18) 豊田啓介：「建築都市空間デジタル記述のためのコモンランド構想について」, 生産研究, 74巻, 1号, pp.139-142, 2022年
- 19) コモングラウンド・リビングラボ運営委員会：「コモングラウンド・リビングラボ資料」, 2021年, https://www.cgll.osaka/assets/img/home/cgll_document.pdf (参照 2022年10月)
- 20) 文部科学省：「プログラミング教育」, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1375607.htm (参照 2021年7月)
- 21) Apple, Inc.：Human Interface Guidelines：HomeKit, <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/homekit/overview/introduction/> (Accessed 2021-06).