

Title	循環創造と建築：新たな循環社会像 "Vortex economy®" の提案
Sub Title	Architecture as a circular hub : a proposal of next circular model : Vortex economy®
Author	佐藤, 大樹(Sato, Taiki) 羽角, 華奈子(Hasumi, Kanako) 出口, 亮(Deguchi, Ryo) 古市, 理(Furuichi, Osamu)
Publisher	慶應SFC学会
Publication year	2024
Jtitle	Keio SFC journal Vol.23, No.2 (2023.) ,p.114- 127
JaLC DOI	10.14991/003.00230002-0114
Abstract	総合建設業は、多種多様な専門会社とチームを組み、役割をつなぎ合わせて社会インフラを建造する。このビジネスプロセスには、サーキュラーエコノミーの実現に向け、建築をハブとした新しい循環の創造に応用できる可能性がある。本報では、サーキュラーエコノミーの概念を拡大し、地域において産業やセクターを超え資源が循環する新しい循環社会像「Vortex economy」を提案し、そこでの建築の役割について、木材の循環モデル形成を先行事例として考察する。また、Vortex economyの実現に必要な建築の在り方を示す。
Notes	特集「循環創造学」を目指して 招待論文：総説・レビュー論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA11671240-00230002-0114

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

[招待論文：総説・レビュー論文]

循環創造と建築

新たな循環社会像 “Vortex economy[®]” の提案

Architecture as a Circular Hub

A Proposal of Next Circular Model: Vortex Economy[®]

佐藤 大樹

大成建設株式会社技術センター課長

Taiki Sato

Manager, Taisei Corporation, Advanced Center of Technology

Correspondence to: stutik00@pub.taisei.co.jp

羽角 華奈子

大成建設株式会社技術センター課長代理

Kanako Hasumi

Manager, Taisei Corporation, Advanced Center of Technology

出口 亮

大成建設株式会社一級建築士事務所シニアアーキテクト

Ryo Deguchi

Senior Architect, TAISEI DESIGN Planners Architects & Engineers

古市 理

大成建設株式会社一級建築士事務所室長

Osamu Furuichi

Chief Manager, TAISEI DESIGN Planners Architects & Engineers

Abstract: 総合建設業は、多種多様な専門会社とチームを組み、役割をつなぎ合わせて社会インフラを建造する。このビジネスプロセスには、サーキュラーエコノミーの実現に向け、建築をハブとした新しい循環の創造に応用できる可能性がある。本報では、サーキュラーエコノミーの概念を拡大し、地域において産業やセクターを超え資源が循環する新しい循環社会像「Vortex economy」を提案し、そこでの建築の役割について、木材の循環モデル形成を先行事例として考察する。また、Vortex economyの実現に必要な建築の在り方を示す。

In construction field, general contractors team up with various specialized companies and connect their roles to construct buildings and infrastructures. Due to this business process, there is a possibility that the general contractor has an ability to realize a new material circulation by using architecture as a hub. In this report we propose next circular economic model: Vortex economy, where resources circulate across sectors and industry. As a precedent case study, we considered the role of architecture in the wood circulation. Furthermore, the necessary appropriate state of architecture was discussed.

Keywords: 建築、サーキュラーエコノミー、ボルテックスエコノミー
Architecture, Circular economy, Vortex economy

1 はじめに

バージン材料（新品の原材料）を用いた製品よりもリサイクル製品に価値を見出す消費者が増え、リサイクルへの積極的な取り組みを推進する政策も進んでいる。民間企業にとっても、資源循環への取り組みを、外部不経済としての環境問題として対処する対象から、積極的に事業機会とみなして成長を図る企業が増え、新しい事業ドメインとして注力する企業も少なくない。

建設・不動産分野においても、従来の建設リサイクル法の枠を超え、積極的な資源循環への関与を模索し始めている。これまで社会資本整備を担ってきた総合建設業が果たす資源循環社会への貢献とは何か。新たな資源と価値の循環を創造する将来の街のビジョンと、循環創造における建築の社会価値について考察する。

2 建設業を取り巻くリサイクル動向

2.1 リサイクルの現状

現在、建設副産物は年間 7,000 万 t を超え、全産業廃棄物の約 2 割を占める。廃棄物処理法では、ビルの新築、解体時やリニューアル時に発生する廃棄物の処理責任は、ビルオーナーではなく元請け業者すなわち建設会社にあり、建設副産物のリサイクル率の向上に努めてきた結果、現在では、リサイクル率は重量換算で 97% という高い値となっている（一般社団法人 産業環境管理協会, 2023）。しかし、これらは重量ベースの値であり、建設リサイクル法

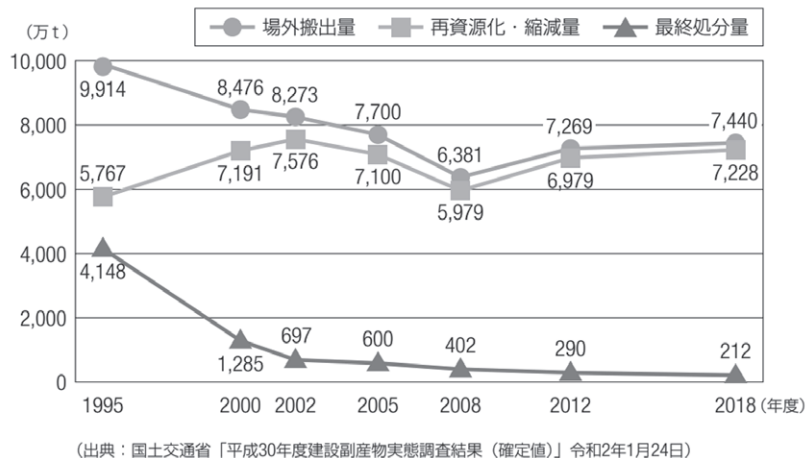


図1 建設廃棄物のリサイクル率の推移（一般社団法人 産業環境管理協会，2023）

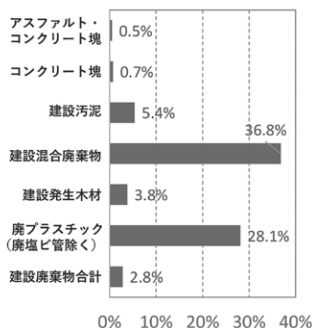


図2 建設廃棄物（品目毎）の最終処分率（重量ベース）
（国土交通省，2020）

の特定建設資材であるコンクリート類、アスファルト・コンクリート類の寄与が大きい。

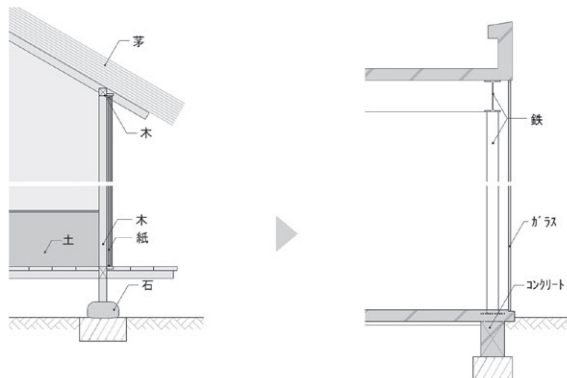
一方で、図2に示すように、リサイクル率の低い（最終処分率の高い）建設副産物には、石膏ボード、プラスチック、グラスウール等を含む混合廃棄物や廃プラスチックがあり、これらには相対的に比重の軽いものが多く含まれることに留意が必要である。その約3割がリサイクルできずに最終処分されている（国土交通省，2020）。

また、プラスチックのリサイクルに占めるサーマルリカバリーの割合は大きく、マテリアルリサイクル率の向上が課題となっている。外構や外装等の屋外で使用される材料には耐候性が求められることから、塩ビのような燃焼時の有害物質排出から熱回収の難しい製品の使用も多く、プラスチック類は、全産業平均に比べ、マテリアルリサイクル率も、サーマルリサイクル率も低いというサンプル調査結果がある（一般社団法人 日本建設業連合会 環境委員会 建築副産物部会，2022）。

建築は巨大な建造物であり、これらの最終処分率の高い材料が大量に使用されていることから、建築が寿命を終えた将来を見越したリサイクル環境の整備や、今後新築する建築へのリサイクル品導入の推進は、今、建設業に課せられた課題と言える。

2.2 解体に備えた設計

図3に日本の伝統家屋と現代建築の比較を示す。日本の伝統家屋は、地域の自然資源を利用し、その素材が持つ本来の性質を組み合わせることで、居住環境の機能性や快適性を維持してきた。素材の組み合わせ・積層により厚みは増すものの、部位、材料ごとに異なる耐久性に応じて個別に交換することができ、老朽化した材料は取り外され、自然に還された。一方、現代の建



左：伝統的家屋（地産地消・解体容易）

右：現代建築（工場生産・高機能一体化）

図3 伝統的家屋と現代建築の比較

築は、経済性重視の空間効率や短工期の追及等により、工場で大量生産され、複数の材料が接着、圧縮、溶接等で一体化された結果、部分的な交換や分別解体が困難になってしまっている。

将来の廃棄時の分別を容易にする製品設計は、既に家電製品等に導入されており、さらに、プラスチック資源循環法により、プラスチック使用製品に関して主務大臣の設計認定を受けられる制度も創設された。対して、建築設計においては、現時点でそのような分別や解体に対する設計指針はなく、これまで通り、構造安全性や衛生環境の確保など性能基準が優先されている。

しかし近年、建設分野において、将来のリサイクルを見越し、解体が容易で再生可能な単一材料に分解できる Design for Disassembly (DfD) に関する研究が始まっている。Crowther (2005) は、将来の再利用とリサイクル率を高めるための DfD に関する一連のガイドラインを提案している。ガイドラインでは、1) 環境に配慮した持続可能な建設モデル、2) 時間に関連した建築層、3) リサイクル階層、の3つの観点から整理し、さらに解体するための設計として、27の設計原則を提案している。また、Cheshire (2019) によれば、「建築は、耐用年数経過後に貴重な材料や部品を回収・再利用できるようにすることで、永続的な「遺産」となるように設計することが可能」であり、5つの設計原則として、「積層造形」「廃棄物排除設計」「適応性設計」「分解設計」「材料選択」を挙げている。

3 サーキュラーエコノミーの地域への拡大

サーキュラーエコノミーの概念図(図4)は、製品ライフサイクルの始点と終点をリサイクルにより接続し、円環状に表したものである。この概念は、人体の循環器など密閉サイクルを連想させ、PET ボトル等、少ない種類の材料から成る消費財でイメージしやすい。

一方、建築における資源とは、建物を構成する床、壁、屋根、柱、梁などの構造体や、設備、内装などの材料(建材)であり、資源の集積の側面から見た建築の特徴として、以下3点があげられる。

- ①莫大な量と膨大な種類の材料の組み合わせから構成される
- ②一度建造すると、数十年というロングスパンのストックとなる



図4 サークュラーエコノミーの概念図

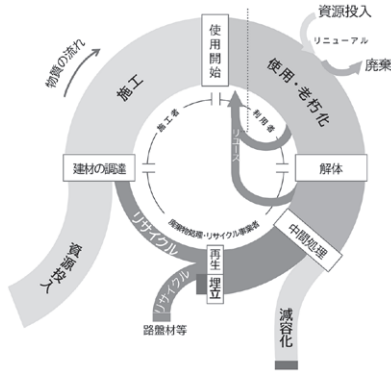


図5 建築単体の資源循環

③ライフサイクルにおいて、リニューアルにより部分的に資源が入れ替わる

図5は、建築のライフサイクルをサーキュラーエコノミーの図式に倣って概念的に表現したものである。新築時、解体時以外にも、多様な材料が様々なタイミングで投入・排出され、解体時に発生する廃棄物の多くは、道路の路盤材等に転用されることが多く、建物単体でサーキュラーエコノミーが成立しているとは言い難い。

この課題は他産業にも当てはまり、建築に限らず多くの工業製品は単独で資源循環のサークルを形成することが難しい。そのため、各産業が充足した資源循環を実現するには、一企業、一産業で取り組むのではなく、地域にお

いて産業クラスターを形成し企業同士が連携しなければならない。さらにはクラスターやセクターも超えて、様々な主体が協調し、複数の製品における資源のサークルをカスケード状に繋げ、それらの間を資源を連関させながら^{めぐ}環らせる必要がある（図6）。

図6の図式が水や空気の流れの中に生じる渦（ボルテックス）に似ていることから、筆者らは、複数の産業間を資源が連関し地域全体で資源循環が成り立つ循環経済モデルを Vortex economy[®]と命名した。ここで、マテリアルフローは流れ、各製品のライフサイクルの不完全なサークルは流れの中に生じる渦に置き換えられる。この渦には、森林や土などの自然資源の再生サイクルも含まれることから、Vortex economy は、自然のサイクルと人為的な営みが融合し、ある地域のなかの資源を最適に環らせることを目指す社会像といえる。

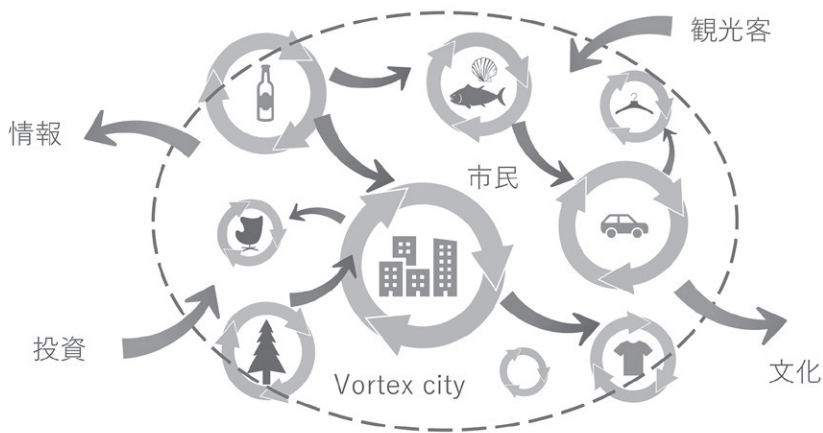


図6 Vortex economy の概念図

ここで、Vortex economy が成立している地域循環圏「Vortex city」は、以下のような地域を実現するものと考えます。

- 様々な人工物のライフサイクルと自然物のサイクルが、空間・時間を超えてつながり、資源が^{めぐ}環る地域

- 資源のストック & フローが全体最適化され、バージン材料の投入と廃棄物が地域全体で最小化する地域
- モノとヒトのつながりを体感でき、社会生活を営む人間の価値観が変容する持続可能な地域

図6中に破線で示す Vortex city の境界は仮想的なものであり、物理的には外に開かれた循環圏である。Vortex city は全国規模、地球規模の開放系の資源の流れの中に仮想的に想定した閉空間であり、その中で資源のやり取りを通じた豊かなコミュニティが形成されることで、地域としての魅力を持ち観光客や投資を呼び込むと共に、他地域の模範となる文化や情報を配信することが期待される。

筆者らは、慶應義塾大学 SFC 研究所田中浩也教授と共に、Vortex city のビジョンとそこに生まれる様々な職業を構想した（大成建設, 2022）（図7）。



図7 Vortex city のイメージ

ここで、製品間での資源の需給バランスが崩れると資源は廃棄物となり、資源が足りないとバージン材料が投入されるため、Vortex economy の成立には地域全体での資源のバランス調整役が必要となる。筆者らは、多種多様で莫大な資源をストック & フローさせている建築は、Vortex city における資源のハブとして重要な役割を担うものと考えている。そこで次章では、Vortex economy における建築の役割について考察する。

4 Vortex economy 実現に向けた建設業のアプローチ

総合建設業は、各種の土木・建築工事を一式で請負うことから、総合請負業とも言い、多種多様な専門会社を集めてチームを組み、役割をつなぎ合わせながら社会インフラを建造する。そのプロセス管理や、社会インフラを運用し様々なサービスをマネジメントする能力は、ケイパビリティの1つと言える。

表1は、総合建設業の各種活動を CSV (Creating Shared Value) の3つのアプローチに当てはめたものである。CSVは2011年にマイケル E. ポーターらによって示された新たな競争戦略であり、自社収益という経済価値と、社会課題や環境課題の解決という社会価値の共通価値を追求することで、自社のポジショニングやバリューチェーンを見直すものである。製品・サービスの提供、バリューチェーンの見直し、地域クラスターの形成の3つの方法を組み合わせ、従来トレードオフとされていた活動を共通化する (Porter and Kramer, 2011)。

表1に、CSV 実現の3つのアプローチと総合建設業の活動の対比を示す。総合建設業は、社会資本整備を事業とする故に、製品・サービスの提供において共通価値を有するケースは多い。さらに近年の傾向として、総合建設業のマネジメント能力を生かし、エネルギーの地産地消のためのネットワーク整備や、地場木材の採取から加工、植林までのネットワーク整備など、地域クラスターの形成を通して課題解決を図る活動も始まっている。これらはいずれも、製品やサービスによる共通価値提供を、より効果的・効率的に行うための活動ともとらえられるが、地域共創による社会課題解決のためのエコシステム形成に、建築がハブとして寄与できる可能性も示唆する。

その例として、自治体、建築主、地元林業者、建設会社で、建築による木材の利用を基軸に森林(自然環境)を含む循環ネットワークを構想し、実践している活動を紹介する。

2023年2月に、埼玉県、株式会社ウッディーコイケ、大成建設株式会社は「埼玉県森林(もり)づくり協定」を締結した。その活動の一環として、OKI 本庄工場 H1 棟新築工事(延床面積 18,837m²、地上2階)において使用した秩父産スギ 206m³の伐採跡地に 24,000 本のスギの苗の植樹をし、今後も下草

表1 CSV実現の3つのアプローチと総合建設業の対比（筆者作成）

CSVのアプローチ	関連する総合建設業の業務	左記のうち、共通価値を有する活動例	対応する社会価値
製品・サービスの提供	- 建築・土木構造物の設計・施工・運用 - エネルギー事業 - 等	- a.省エネ建築 - b.木造建築 - c.バリアフリー建築 - d.防災インフラ、災害復旧 等	- a.脱炭素 - b.林業活性化 - c.移動弱者支援 - d.防災、安心・安全 等
バリューチェーンの見直し	計画・設計⇒製造(施工)⇒運用	1.施工時の燃費向上 2.廃棄物削減 3.生態系回復 等	1.脱炭素 2.資源循環 3.ネイチャーポジティブ[*] 等
地域クラスターの形成	専門工事業者、協力企業のとりまとめ、近隣住民や行政などと調整、総合マネジメント	- i.エネルギーネットワーク整備 - ii.資源ネットワーク整備 ← - iii.木材ネットワーク整備 ← (事例分析対象) 等	- i.脱炭素 - ii.資源循環 - iii.林業活性化 - 等

刈りの取り組みを継続することとしている。

この活動の意義は二つある。一つは、図8の左半分のモデルのように、林業と製材業と建設業を連携させ、木材の生育・伐採・利用から、再度、植林に繋げ、森林（自然）サイクルと建築（人工）サイクルをつなげることで、地域で木材循環の形成を試みたことである。もう一つは、図8の右半分のモデルのように、秩父スギからCLT（クロス・ラミネイティッド・ティンバー）を製造し、耐力壁・柱の防火被覆・屋根スラブ等、建材利用する方法を考案・実践することで、汎用性と普及性を持たせ、大量の木材利用を可能とし、カーボンニュートラルというグローバル課題への貢献を企図したことである。このように、工場建設プロジェクトをきっかけに、建材を介して建築が地域とグローバルの両面のサステナビリティに寄与する循環の結節点となることを目指している。

総合建設業が行う事業として継続性を持たせるためには、スケーラビリティの確保が重要となる。そのためには、地域の循環モデルについては、全国各地において地域特性にあった地産地消の木材利用サイクルを構築する先行モデルとして知見・ノウハウを集積すること、グローバルな循環モデルについては、製品化、汎用化が必要となる。

上記の取り組みは、木材という一つの資源に関し、秩父エリア内において様々な産業が連携することで形成された Vortex economy の特殊解と言える。その他の資源についても、建築が資源循環のハブとなることにより、地域の

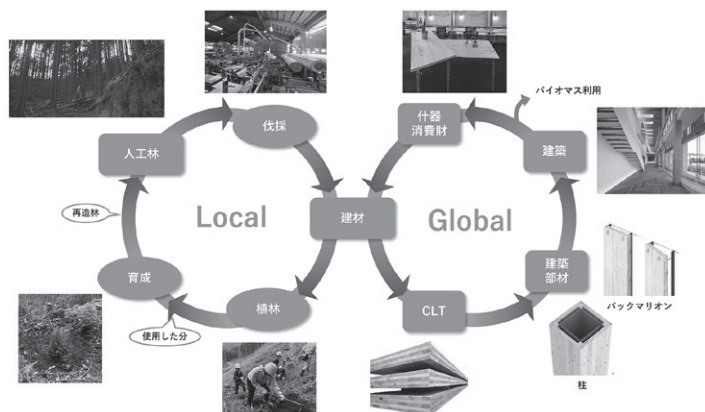


図8 建材がハブとなる木材の循環モデル

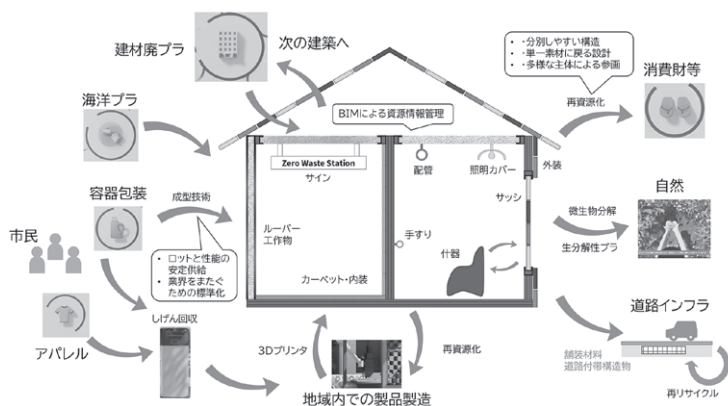


図9 建材が核となる廃プラスチックの循環イメージ

循環経済の醸成を促し、多様な資源を含む Vortex economy の実現が近づくと考えられる。

図9はプラスチックについて建築を取り巻く循環の姿を構想したものである。地域内で生じた廃プラスチックを資源として建築に長期間ストックさせると共に、BIM (Building Information Modeling) により、リニューアルに伴う資源の出入りを含め、ストック資源の属性・耐用年数等をデータ管理することで、他産業の材料としてのカスケード利用が可能になる。

このデータ管理は、ファブシティの概念にもつながる（田中・渡辺, 2019）。今後各地に生まれるいくつもの地域の循環が、グローバルな循環で結ばれ、データを介して資源循環の情報や技術が共有されるようになれば、資源の遠距離輸送が減り、資源の自律分散利用が進むと考えられる。

5 Vortex city のための建築に向けて

最後に、Vortex city を形作る 1 つ 1 つの建築のあるべき姿について考察する。それは、地域という開放的な循環圏に対し開かれていく建築であり、多様で莫大な資源を統合し長期間にわたりストックする存在として、様々な製品のライフサイクル同士を空間・時間を超えてつなぎ合わせる結節点としての役割を担う。筆者らは、現時点において、図 10 に示す 9 項目を地域において循環を生み出す建築の原則と考え、建築生産に係る様々な活動に反映すべく取り組みを開始したところである。

図 11 は、Vortex city のための建築として、筆者らが実践したオフィスの例である。製材所で余った再使用可能な木材などの資源を、工事現場で利用するパイプなどで解体容易な状態で組み上げ、椅子やテーブル等の什器、内装の一部にすることによって、他所で資源が必要になったときに解体して資源として提供できる。

近年、カーボンニュートラルへの貢献のため、大型の木造・木質建築が急速

【空間】 地域で環らす	①: 地域内のマテリアルやエネルギーを使う(地捨マテリアル、再生エネルギー) ②: 地域の自然に還るマテリアルを使う(森林循環) ③: ストック機能を持ち、他者が必要な時にマテリアルやエネルギーを提供できる(BCP)
【時間】 長く使える	④: 再資源化しやすいモノマテリアルの素材を使う(リサイクル) ⑤: モジュール性をもち、分解・再構成ができる(リユース) ⑥: 変化する利用者のニーズに対し、アップグレードできる(アップサイクル)
【人間】 リスペクトされる	⑦: 思い入れや愛着がわく長寿命なデザイン(パティーマ) ⑧: DB化により資源のストック&フローがマネージメントできる(デジタルツイン) ⑨: 地球環境、自然、生態系を改善する(リジェネラブル)

図 10 Vortex city を構成する建築の設計原則



図 11 再利用可能な資源をインテリアや家具としてストックしている例（大成建設設計本部）

に増えている。建築では、火災時の安全性を確保するため、使用する材料に耐火性能が求められる。これまで非木造（鉄筋コンクリート造や鉄骨造）でしか造ることのできなかった規模の建築の木造化が可能となったきっかけは、2000年の建築基準法改正で、木造建築の耐火認定が法的に可能となったことである。しかし、研究開発には長い時間を要し、実際の耐火認定取得は2006年になってからであった。さらに、実際の木造・木質建築が増加したのは、2010年の公共建築物等の木材利用促進法以降の2013年頃からである。すなわち取り組みが始まってから建築として社会実装されるまでには、10年以上を要した。

廃プラスチックについては、2022年にプラスチック資源循環法が施行され、資源としての利用や再利用可能な製品設計に向けた取り組みが始まったところである。建築においては、現時点ではまだ、プラスチックは耐火認定されておらず、建材として利用できるようになるまでには、今後、長い研究開発期間を要することが予想される。10年先の建築・建材でのプラスチック利用の実現と、それによる資源循環のハブとしての役割に向け、研究開発をスタートする時であると考えている。

6 おわりに

サーキュラーエコノミーは、世界的な資源需要の増加や資源安定供給リスクに起因し、2015年頃から提案され始めた経済モデルで、技術開発に加え、シェアリングやサブスクリプション等のビジネスモデルで、リサイクルコストの克服を図ってきたが、いまだ実現へのバリアは多い。それに対し、Vortex economy は、産業のみならず様々なセクターを横断した資源循環の実現を目指すため、資源、分別方法、輸送方法、製品選択等において、モノの持つナラティブ性やモノとユーザー間のリスペクトに立脚する新しい価値基準が求められる（慶應義塾大学，2023）。

建築は単なる物的ストックではなく、人の暮らしや、まちを創ることから、資源だけではなく、エネルギー、人、情報等を循環させる存在である。この環らす力で、地域の環境、文化、経済の向上に寄与する循環を創造する建築を目指したい。

引用・参考文献

- 一般社団法人 産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センター（2023）『リサイクルデータブック 2023』
- 一般社団法人 日本建設業連合会 環境委員会 建築副産物部会（2022）『建設工事現場から排出される廃プラスチック類の組成調査報告書』
- 慶應義塾大学（2023）「[リスペクトでつながる『共生アップサイクル社会』共創拠点が JST「共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）」地域共創分野・本格型プロジェクトとして採択－異分野融合による「循環創造学」を目指して始動－」
<https://www.keio.ac.jp/ja/news/2023/3/14/27-135651/>（2023年9月29日アクセス）
- 国土交通省（2020）「国土交通省平成30年度建設副産物実態調査 建設廃棄物の再資源化率」
- 大成建設株式会社「新しい資源循環を実現したまち「Vortex City」のHP公開を開始」
https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220905_8925.html（2023年9月29日アクセス）
- 田中浩也、渡辺ゆうか（2019）「デジタルファブリケーションとSDGs、ファブシティ概念を中心として」『KEIO SFC JOURNAL』19(1), pp.28-61.
- Cheshire, David (2019) *Building Revolutions: Applying the Circular Economy to the Built Environment*, RIBA Publishing.
- Crowther, Philip (2005) “DESIGN FOR DISASSEMBLY - THEMES AND PRINCIPLES”, *Environment Design Guide*. pp.1-7.
- Porter, Michael E. and Kramer, Mark R. (2011) “Creating Shared Value”, *Harvard Business Review*. 89(1/2), pp.62-77.

[受付日 2023. 9. 30]