

ほらいずん

やわらかものづくりが拓く 2050 年の未来社会 —実現のための科学技術・システム及び留意点—

科学技術予測・政策基盤調査研究センター 特別研究員 蒲生 秀典、客員研究官 古川 英光

【概要】

第 11 回科学技術予測調査では、2050 年までの科学技術の将来を展望し、今後の材料・製造の方向性として、「やわらかさ」や「自発的な変化」がキーワードとして示された。今回、ものづくりの将来の方向性に関する深掘り調査として、やわらか 3D 共創コンソーシアムの協力を得てワークショップを開催し、やわらかものづくりが拓く 2050 年の社会の姿を描き、その実現のために必要となる科学技術・システムと留意点の抽出を試みた。2050 年の衣食住の生活シーンでは、材料・素材の高機能化、デザイン・機能の個別化が進展し、製造・流通コスト低減、環境負荷低減、人の精神的・身体的負担低減にも対応し、マス社会から個人ベース社会へと転換、個人と社会の QOL (Quality of Life) が向上している。その実現のための科学技術として、予測調査で取り上げた 26 の科学技術トピックが挙げられた。さらに、健康状態・精神状態の把握により形や素材が変わる 4D プリンティング、個人・消費者が備えることでパーソナル・オーダーメイドを実現する 3D フードプリンタ、自在に硬度・表面テクスチャが変更できる建材や、分解、組立て、再利用が容易な資材などが新たなトピックとして抽出された。

キーワード：科学技術予測、やわらかものづくり、3D プリンティング、4D プリンティング、デジタルファブリケーション

1. はじめに

科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) では、科学技術の中長期の将来を展望する科学技術予測を実施してきた。第 11 回科学技術予測調査 (2019 年 11 月公表)¹⁾ では、2050 年までに実現が期待される 702 の科学技術トピックを設定し、それを基に分野横断・融合領域として注目すべきクローズアップ科学技術 8 領域を抽出した²⁾。そのうちの領域 4 「新規構造・機能の材料と製造システムの創成」では、先端材料やデジタル製造関連の科学技術トピック群がコアトピックとして抽出された。また今後の材料・製造の方向性として、「やわらかさ」や「自発的な変化」が

キーワードとして示された³⁾。

今回、ものづくりに関わる領域 4 の深掘り調査として、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「革新的設計生産技術」の成果として山形大学が立ち上げた、やわらか 3D 共創コンソーシアム^注の協力を得てワークショップを開催した⁴⁾。主に全国規模で事業を展開するコンソーシアム会員企業に加え、地元企業や山形県関係者にも参加いただいた。山形県は素材産業を中心に発展した地域でもあり、予測調査の結果も踏まえ、今後の材料・製造の方向性である「やわらかものづくり」をテーマにものづくりに関する今後の展望と重要となる科学技術・システムについて検討した。

注 「材料 30 年から材料 3 ヶ月へ」という想いのもと、3D プリンターに関心のある複数の企業がシナジー効果を生み出して「やわらかものづくり」のオープンイノベーションを加速しようと、2018 年 4 月に発足したコンソーシアム。
<https://soft3d-c.jp/>

本稿では、既報⁴⁾のワークショップでの議論を基に、生活シーン（衣食住）別に「2050年の社会」を作成し、その実現に必要な科学技術・システム及び留意点等について、これまでの予測結果も参照し抽出した結果について記す。

2. 2050年未来社会の検討（ワークショップ実施）

2050年未来社会の検討のためのワークショップをやわらか3D共創コンソーシアムとNISTEPとの共催で2021年11月5日に完全オンライン形式にて実施した。コンソーシアム会員企業、山形県関係者及び山形大学から計22名（企業12名、県2名、大学8名）に参加いただいた。ワークショップでは、既にそれぞれ作成済みのNISTEPとコンソーシアムのビジョンを基に2050年の社会像を検討した。次に生活シーン（衣食住）別に「衣（ファッション）」、「食」、「住（建造物）」及び「介護」（介護は住の一面と捉える）の4グループに分かれ、各テーマについてグループディスカッションを行った。2050年の社会像実現のための科学技術・システムの検討には、図表1に示すクローズアップ科学技術領域4を構成するコアとなる科学技術トピック（以下、コアトピック）の社会実装年を記載した年表を提示し議論した。なお、ワークショップの実施概要については既報⁴⁾を参照のこと。

3. 検討結果

ワークショップで出された意見を基に作成した「2050年の社会」と、その実現に必要な科学技術・システム及び留意点等について、生活シーン（衣食住）別に以下に示す。また科学技術については、領域4のコアトピック及び関連する前回の予測調査¹⁾の科学技術トピック、それ以外を新規科学技術として抽出し、それぞれ図表2～5（〔〕内は社会的実現年）にまとめて示す。

3-1 衣（ファッション）

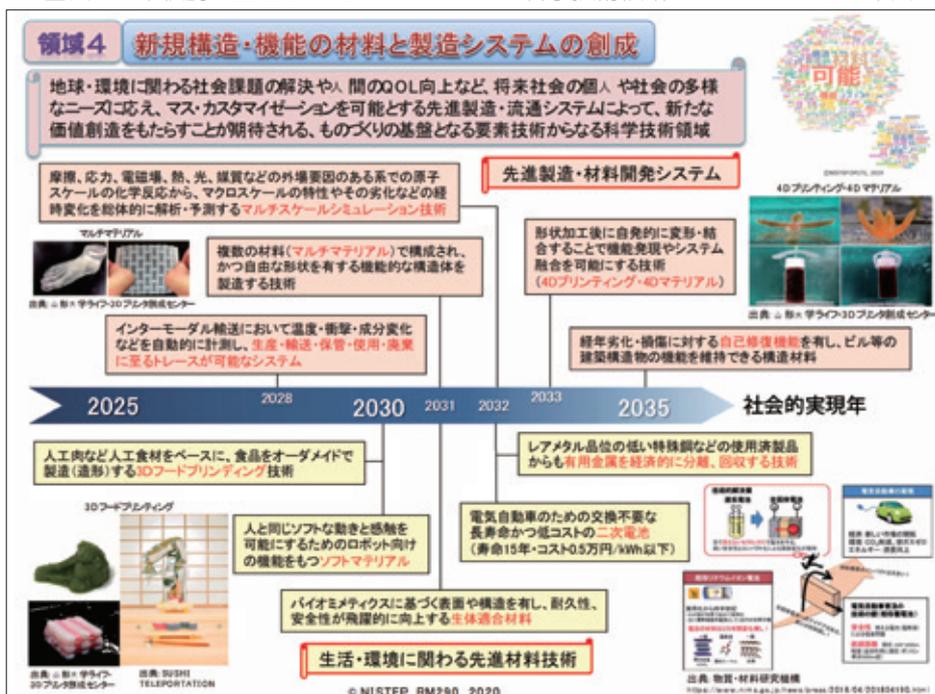
◎ 2050年の社会 「究極のハッピーオーダーメイド近未来ファッション社会～心も体も健康に」

4D衣服（最先端ファッション）、長期間着用可能な衣服（楽なファッション）及び体調管理かつデザイン性に富んだ年齢問わない衣服（健康的なファッション）で、〔技・楽・医〕を考慮したファッションスタイルが実現し、個々人が生産・流通に直接つながる、あるいは自ら生産・流通を行うインフラを容易に持つことができる社会

○最先端高機能ファッションの実現

衣服用の素材研究が進展し、匂いを吸着する中空繊維や表面修飾技術、体温を保持できる保護材料、同じ形でも色をかえることができる光学迷彩服、あるいは繊維以外の衣服の素材材料が開発されるなど、衣服の在り方自体も変化している。さらに、スマー

図表1 本検討の基となったクローズアップ科学技術領域4のコアトピック年表



出典：参考文献2)

ト材料を3Dプリンティングに適用した4Dプリンティング⁵⁾が、フィッティングや製作に適用され、健康状態・精神状態に逐次対応し形や素材が変わるファッションが実現している。

○ファッションの個別化と製作システムの変革

急速に進化しリアルに近づいたVR（仮想現実）やAI（人工知能）を用いた採寸も可能となり、先端技術の試着・販売プラットフォームや個人でも始められる仮想ファッションデザインサービス、コンビニエント衣服工場が普及している。デザイナーや衣料メーカーは、デザインや製作をプロに任せたい人向けに特化し、カスタマイズされたニーズへの対応へとその役割を変えながらも存在している。また、介護保険が適用され、介護用の機能性衣服も開発され利用されている。

〔留意点〕

- ・技術に取り残されてしまう人が出るため、操作性の個人差解消が必要
- ・マス市場志向の製造業における失業問題
- ・研究開発人材・メンテナンス人材の不足
- ・気候変動、健康、環境へのリスク
- ・人体情報のリアルタイムモニタリングなどにお

ける個人情報の保護

- ・スポーツウェアなどに関する競技ルールの構築、改変等が必要

3-2 食

◎ 2050年の社会 「フードテックによる持続可能な安全食品での食文化の構築」

フードテクノロジーによって個人や社会のQOL（Quality of life）が向上、環境に配慮した多様で安全な食品及び豊かな食体験によって精神的な満足感も充足されている社会

○ QOL向上のための食テクノロジー構築

QOLの定量化がなされ、個人や社会のQOL向上のための新たな食テクノロジーが、食に関するアカデミック研究者、メーカー研究員が集結するフードテック研究所を構築することで生み出されている。また、環境に配慮した食品のパッケージングも開発され普及している。地方では、地元食材を用いた新時代の食プロジェクト（完全フードプリンタ製）が進められ、新たな地産地消の食産業が生み出されている。更に多くの消費者が個人で3Dフードプリンタを備えてお

図表2 実現のための科学技術・システム〔衣（ファッション）〕

| | |
|----------|---|
| 領域コアトピック | ・形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術（4D プリンティング・4D マテリアル）[2033] ・インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム[2028] |
| 科学技術トピック | ・情報技術を用いたエンドユーザでも容易に利用可能なデザインツールやパーソナルファブリケーション技術（ハイアマチュアや複数人の共同によって制作される製品・サービスのコンテンツが増加し、それを享受する一般利用者の元でも簡単にカスタマイズできるようになる）[2028] ・マス・カスタマイゼーションが自動車、衣服、レジャー用品など幅広い分野で普及し、既製品を購入するよりも自分のニーズに合ったものを個別に発注して購入する形態が主流となる[2031] ・高度VRシステム（会議、製造現場の状態管理）と、それを支える高速情報流通システム[2027] ・過去の自分自身や偉人、遠隔地の人、ビデオゲームのキャラクタなどと競うことが可能な、実空間上での自然な情報提示によるARスポーツ[2030] |
| 新規科学技術 | ・健康状態・精神状態の把握により形や素材が変わる4Dプリンティング ・形態センシング技術 ・繊維以外の衣服の素材材料の開発（衣服の在り方自体変わる） ・匂いを吸着する中空繊維や表面修飾技術 ・体温を保持できる保護材料 ・暖かさや涼さを提供するエネルギーを衣類が獲得できるエネルギーハーベスト技術 ・同じ形でも色をかえることができる光学迷彩 |

図表3 実現のための科学技術・システム〔食〕

| | |
|----------|--|
| 領域コアトピック | ・人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造（造形）する3Dフードプリンティング技術[2030] |
| 科学技術トピック | ・「美味しさ」を簡便に再現するための、味覚・香り・食感（テクスチャ）を考慮した認知科学・言語学・化学・AI など分野融合的なアプローチによる研究成果の国際的なデータベース化[2029] ・生産場所から消費場所への距離短縮（Footprints 改善）に向けたマスカスタマイゼーション実現の製造・加工・調理技術[2029] ・廃棄食品再利用による新規資源生成技術（例えば3Dフードプリンタのような）[2030] ・生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン[2032] |
| 新規科学技術 | ・個人・消費者が備えることでパーソナル・オーダーメイドを実現する3Dフードプリンタ ・パーソナルに必要な栄養やアレルギーに対応できるフードインクへの機能付加技術 ・乳幼児や高齢者、嚥下困難者、リハビリなどに広く対応できるやわらか食調製技術 ・環境に配慮した食品のパッケージング ・フードテック研究所、研究フィールドを食に関するアカデミック研究者、メーカー研究員が集まる場所 ・地元食材を用いた新時代の食プロジェクト（完全フードプリンタ）のためのあらゆる取組 |

り、パーソナル食品・オーガメイド食品を製作し、豊かな食生活が実現している。

○食文明の進化

食テクノロジーと併せて、Body & Soulful / 文化文明の視点を持つことで、食文明の進化がなされている。食オタク向けの新たな食体験ラボなども開設されている。

〔留意点〕

- 食品製造業は利益率が低いいため、生産する側も辛せになれる仕組み・儲かる仕組みの構築
- 食に関する法律は古いものも多く食品製造に制約も多いため、時代に合わせた食品提供に関する法整備
- 大企業が邪魔することもあるため、スタートアップ段階で様々な企業を巻き込むこと
- 食メーカー・食産業の新製品開発に対するモチベーションの低さ
- 新たな食（あるいはその体験）を作ることで引き起こされる健康被害
- 人間の基本的欲求へのアプローチなので慎重さ

も必要

3-3 住（建造物）

◎ 2050 年の社会 「自分の理想を追い求めて、どこでも、何度も簡単に換えられる、やわらかトランスフォーム（家×庭）」

住まい・室空間の機能化・高度化（医療・介護との連動、気候に左右されない）がなされ、状況に応じて変化（日々の生活に合わせて変更）できる住宅、容易に移動可能な住（空間）でリサイクル可能となっている社会

○住まい・室空間の機能化・高度化

分解や組立て、再利用が容易な資材、構築が容易でリサイクル可能な建築材、安全担保のためのセンシング可能な建材及び 3D プリント可能な高断熱材や太陽光パネルなどが開発され、安全かつ環境に優しい住まい・室空間が提供されている。さらに、シニア層が住みやすいユニバーサルデザインや、個人所有のヘルスアイテム造形用 3D プリント技術が普及し、個々人にあつた住環境が整備されている。

図表 4 実現のための科学技術・システム〔住（建造物）〕

| | |
|----------|---|
| 領域コアトピック | <ul style="list-style-type: none"> • 経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築建造物の機能を維持できる構造材料〔2035〕 • 複数の材料（マルチマテリアル）で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術〔2031〕 |
| 科学技術トピック | <ul style="list-style-type: none"> • 3D プリンター化による部材の現場製作、ロボット・ドローンによる建材の自律運搬等、構造 躯体 及び仕上げ・設備の未来型合理化施工法〔2033〕 • 3D プリンターなどにより、再資源材料の生産効率や回収再生の仕組みを大きく変換する、建材の再資源化プロセス技術〔2034〕 • 橋梁 などのコンクリート建造物のユニット化による、現場での組立ての自動化〔2027〕 |
| 新規科学技術 | <ul style="list-style-type: none"> • 自在に硬度、表面テクスチャーが変更可能な建材 • 安全担保のためのセンシング可能な建材 • 分解、組立て、再利用が容易な資材 • 3D プリンティングによる安価で簡単で丈夫な組立て住宅 • 素人でも構築可能な組立ブロック型の家 • 形状や容積を変化させられる「やわらか建築物」 • リユースできる「やわらか家」 • リサイクルを重視したモバイルハウスと移動を容易にする技術 |

図表 5 実現のための科学技術・システム〔住（介護）〕

| | |
|----------|---|
| 領域コアトピック | <ul style="list-style-type: none"> • 人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル〔2030〕 • バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性及び安全性が飛躍的に向上する生体適合材料〔2031〕 • 電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池（寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下）〔2032〕 |
| 科学技術トピック | <ul style="list-style-type: none"> • 自立した生活が可能となる、高齢者や軽度障害者の認知機能や運動機能を支援するロボット機器とロボット機器や近距離を低速で移動するロボットの自動運転技術〔2030〕 • 建築&設備と一体化された AI、IoT、ロボット活用等による高齢者、障がい者及び子育て世帯等の住生活機能改善、ノーマライゼーション化〔2030〕 • 歩行者と同程度の専有面積で 20km 程度の航続距離がある電動パーソナルモビリティ〔2027〕 • 超高齢社会において、高齢者が単独で安心してドアからドアの移動ができる、地区から広域に至るシームレスな交通システム〔2031〕 • 当人の代わりに買物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及〔2031〕 • 体内情報（薬物動態、癌 マーカー、感染、その他血液成分）をモニタリングするウェアラブルデバイス〔2031〕 • 運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI（ヒューマン・マシンインターフェイス）デバイス〔2032〕 |
| 新規科学技術 | <ul style="list-style-type: none"> • 5G を超える高速ネットワーク • 害獣対応、動物飼育支援などが可能なやわらかアニマルロイド技術 |

○変幻自在な住まいの構築

自在に硬度や表面テクスチャーが変更可能な建材が利用可能で、3D プリントで安価で簡単な組立て住宅（3D でコンクリート製品をまぜて、500 年耐久）や、素人でも建築可能な組立ブロック型住宅、変形によって容積を変えて冷暖房にかかるコストを下げられる 3D プリント可能な建築物、あるいはリユースできる「やわらか家」（テントとか、キャンプ用品側からのアプローチ、災害対応にも寄与）が増えている。一方で、土地の所有（権）制度や住民票制度を見直す動きや、住宅取引を気軽にできる市場環境整備も進められている。

〔留意点〕

- ・移動や引っ越し、外観や庭の変化等を許容する合意形成
- ・家具の再利用、シェア等の高度な進展による産業構造の変化
- ・特定企業、団体への特許の集中
- ・住宅は長期に活用するものであるため安全性の担保が必要
- ・災害対策

3-4 住（介護）

◎ 2050 年の社会 「介護を受ける側・介護する側の「楽」を目指した近未来介護実現に向けた持続可能な社会」

精神的／身体的負担のない介護デバイス・システム、介護者が笑顔で受け入れられる衣食住医システム、パーソナルモビリティにより、要介護者の移動が容易になっている社会

○介護システム構築のための基盤技術

ロボットや AI の急速な高度化と高性能・低消費電力の半導体、安全で大容量・長寿命の電池及び超高速・大容量の通信ネットワークが技術開発され普及したことで、精神的／身体的負担のない介護システムが構築され、利用可能となっている。

○介護関連技術・サービスの進展

要介護者のリハビリや病状改善のための研究開発や健康情報のモニタリング技術が進展している。また、介護に関する医療やパーソナルモビリティなどの各種の法改正が進むとともに、国の補助などにより介護に必要な介助機器（やわらかデバイス・システム）の低額提供が可能となっている。さらに、個人が要介護に至る前に症状を改善できたり、リハビリテーションしたりすることを支援できたりするようなパーソナライズされたサービスや、体力低下を改善する在宅リハビリサービスが普及している。

〔留意点〕

- ・介護するあるいは介護される側の視点や考え
- ・介護が必要な症状の発症メカニズムの理解
- ・社会的な意義の高い事業、サービスであるので、安易な収益性を目的とする企業などが現れることへの懸念
- ・健康保険料、介護保険料からだけでなく、資金を集めるような仕組みの必要性

4. まとめ

検討の結果得られた、やわらかものづくりが拓く 2050 年の未来社会の概要を図表 6 に示す。

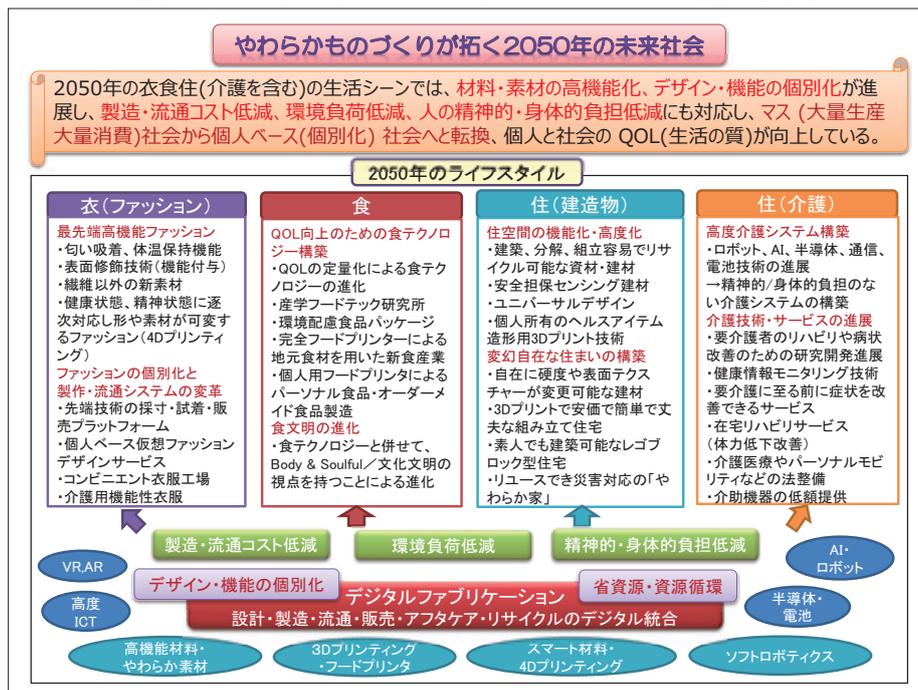
2050 年の衣食住（介護含む）の生活シーンでは、材料・素材の高機能化、デザイン・機能の個別化が進展し、製造・流通コスト低減、環境負荷低減、人の精神的・身体的負担低減にも対応し、マス（大量生産大量消費）社会から個人ベース（個別化）社会へと転換、個人と社会の QOL が向上している。

この社会の実現において、高機能材料・やわらか素材からなる個別化対応のファッションスタイル、3D プリンティング・フードプリンタの活用による介護食も含めたパーソナル・オーダーメイド食品、低コストでリユース可能な 3D プリント住宅、災害対応のやわらか家、ソフトロボティクスによる精神的／身体的負担のない介護システム、さらに、利用状況に変幻自在に適応可能なスマート材料・4D プリンティングなどの科学技術が、2050 年の QOL 向上に大きく寄与することが期待できる。

それらを支えるプラットフォームとして、製品の設計、製造、流通、アフタケア及びリサイクルのデジタル統合が可能なデジタルファブリケーション⁶⁾は、デザイン・機能の個別化を低コストで実現でき、省資源・資源循環の視点からも最小限の材料とプロセスで製造を可能とするポテンシャルを有する。さらに、VR、AR（拡張現実）、AI、ロボット技術、それらを支える高度 ICT、高速ネットワーク、半導体及び電池技術が重要となる。

ワークショップでは、前回の予測調査で取り上げた科学技術トピックから、コアトピックをはじめとして関連する計 26 トピックが挙げられ、これらはすべて 2050 年までの社会的実現が予測されている。また新たに、健康状態・精神状態の把握により形や素材が変わる 4D プリンティング、個人・消費者が備えることでパーソナル・オーダーメイドを実現する 3D フードプリンタ、自在に硬度や表面テクスチャーが変更可能な建材や分解・組み立及び再利用が容易な資材などが挙げられた。やわらかものづくり社会の実現には、これらの科学技術の研究開発

図表6 やわらかものづくりが拓く 2050 年の未来社会 (概要)



にも注力する必要がある。

また、留意点や懸念されるリスク等の意見から、環境や気候変動への配慮、災害対策、人や社会の安全・安心の担保、研究者や技術者の人材不足への対応、産業構造の変革及び時代にあったルールや法整備の必要性などが指摘されており、やわらかものづくり社会の実現に当たってはこれらを十分考慮する必要がある。

謝辞

ワークショップ開催及び本稿取りまとめに当たり、多大なる御協力を賜った、やわらか 3D 共創コンソーシアムの関係者、会員企業、山形大学及び山形県関係者の皆様に心から感謝申し上げます。

参考文献・資料

- 1) 科学技術予測センター、「第 11 回科学技術予測調査 総合報告書」、科学技術・学術政策研究所、NISTEP REPORT No.183、2019 年 11 月：https://doi.org/10.15108/nr183
- 2) 重茂浩美、蒲生秀典、小柴等、「第 11 回科学技術予測調査 2050 年の未来につなぐクローズアップ科学技術領域—AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせによる抽出・分析」、科学技術・学術政策研究所、調査資料-290、2020 年 6 月：https://doi.org/10.15108/rm290
- 3) 蒲生秀典、ほらいずん「デルファイ調査座長に聞く「科学技術の未来」：マテリアル・デバイス・プロセス分野—材料科学分野のデジタルトランスフォーメーション(DX)の加速に向けて—東京大学大学院工学系研究科榎学教授インタビュー」、STI-Horizon Vol.6, No.4: https://doi.org/10.15108/stih.00235
- 4) 蒲生秀典、横尾淑子、浦島邦子、ほらいずん「やわらかものづくりが拓く 2050 年の未来社会—山形ワークショップ開催報告—」、STI-Horizon Vol.8, No.1: https://doi.org/10.15108/stih.00285
- 5) 古川英光、蒲生秀典、ほらいずん「3D プリンティングから 4D プリンティングへ—デジタルファブリケーションの新たな展開—」、STI-Horizon Vol.7, No.2: https://doi.org/10.15108/stih.00258
- 6) 蒲生秀典、「デジタルファブリケーションの最近の動向—3D プリンタを利用した新しいものづくりの可能性—」、科学技術動向、No.137, P.19-26、2013 年 8 月：https://hdl.handle.net/11035/2416