

Title	サーキュラーエコノミーにおける「モノづくり」に関する論点を整理する：生産機械・設備の開発方向性の一考察
Author(s)	村松, 竜弥; 妹尾, 堅一郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 39: 813-818
Issue Date	2024-10-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19469
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

サーキュラーエコノミーにおける 「モノづくり」に関する論点を整理する ～生産機械・設備の開発方向性の一考察～

○村松竜弥, 妹尾堅一郎 (産学連携推進機構)

ryuya-muramatsu@nposangaku.org

キーワード：サーキュラーエコノミー、生産設備・機械、資源生産性、使い続け、自動解体機器

1. はじめに

サーキュラーエコノミー (CE) の基本が「資源生産性」と「使い続け」であるとすれば、どのような「モノづくり」が望ましいだろうか。従来の線形経済 (リニアエコノミー: LE) では、大量生産でムダ・ムリ・ムラのない生産性が重視されてきた。今後のCEでは、それに加えて、マスカスタマイゼーション生産や設備・機械自体の資源生産性等が求められる。それは、一方で資源生産性の高い設備・機械 (例えばモジュラー設計による設備の柔軟性向上や、IoT技術による設備の稼働状況監視と制御、AIによる生産工程の最適化の組み合わせ等) であり、他方でモノの解体や再生に寄与する設備・機械 (例えば自動解体用設備機器等) の開発を促すだろう。

本論では、これらに関する論点を整理、考察を行う。特に問題提起したいのは、従来の線形経済において追求された生産性向上志向の生産設備機械と、今後求められる循環経済における生産設備機械は、果たして対立するものなのかどうか、という点である。

2. 生産機械・設備の変遷の特徴

従来の線形経済は、産業革命以降の製造業における大量生産体制の確立とともに進展した。その製造業における生産機械設備の変遷について、まず整理・確認してみよう。

インダストリー1.0 以前では、製造 (生産・加工) は主に道具を使った手作業で行われていた。職人たちは、それぞれの技術と経験に基づいた生産をしていたので生産量は限られ、製品の品質も一定ではなかった。だが、軽工業では、アダム・スミスが指摘したように、大量生産の基本原則として単位化や標準化が発見され、一人当たりの生産量は拡大した。

インダストリー1.0 では、18世紀から19世紀において、蒸気機関の発明と鉄の精密加工が可能になった。それを契機として、紡績機などが開発され手作業から機械作業へと移行、生産性が急増した。

インダストリー2.0 では、20世紀に入り、フォード生産方式等の生産ラインの効率化や工程の単位化・標準化と作業の分業・分担など「科学的管理法」が進展した。人手作業のムダ・ムリ・ムラの削減が主目標とされ、ホーソン実験等の社会心理学系研究も進んで工場での労働生産性が大幅に向上した。

インダストリー3.0 では、1970年代以降の電子技術とコンピュータ制御が導入され、ムダ・ムリ・ムラの削減は人から機械設備へその焦点を移行していった。また従来の少品種大量生産から多品種少量生産が志向された。人手作業の標準化が進む一方で、制御技術は人間の役目を生産機械設備の監視業務に次第に移させた。「必要なものを必要なときに必要な量だけ生産する」という「トヨタ生産方式=ジャストインタイム (JIT)」が脚光を浴びた。特に日本では、作業者の知恵を動員する「提案活動」「小集団活動」による「品質管理運動 (QC)」が生産機械設備や作業方法の改善・改良に大いに寄与した。さらに習熟者を不要とする「フルターンキー・ソリューション」等のオートメーション化も進んだ。これらは、品質管理と生産性向上を両立させる生産機械設備と生産管理手法を成熟させていったと言えるだろう。

インダストリー4.0 では、ドイツ政府主導のサステナブル生産が全面的に打ち出され、21世紀に入って本格化したセンサーによるIoTやAIによるビッグデータ解析によって「スマートファクトリー」が進展した。ムダ・ムリ・ムラのリアルタイム検出と対応を通じた予知保全・予防等が進展している。加えて、デジタルツインにより仮想シミュレーションが生産プロセス最適化を可能にしている。他方、大量生産の仕組みを活用しながら“個客”向けのオーダーメイドを行う「マスカスタマイゼーション生産」が試行されている。

インダストリー5.0 は、現在、欧州委員会を中心にして「人間中心」「持続可能」「レジリエント (柔軟

な弾力的回復性)」を中心にしたコンセプトとして議論されている。ロボットやAIを活用した、人間中心で持続可能性に寄与する製造業が想定されている。

以上の整理を通じて見出せるのは、次の三点である（もちろん、これは本論として注目すべき点であり、それ以外の点を排除するものではない）。

第1、生産性向上が何より目標とされたこと。特に一人当たりの労働生産性が重視されてきた。

第2、それはムダ・ムリ・ムラの徹底的排除を通じてなされたが、当初は人手作業のムダ・ムリ・ムラ排除であったのが、次第に機械設備自体による生産のムダ・ムリ・ムラの徹底的排除へと移行してきたこと。人の技能的作業が形式知化を通じて機械設備の技術に展開されていると言える。現在、人手業務は、機械化が難しい作業と機械設備の監視業務へと二分化した見える。

第3、生産性の向上は、モノ消費主導経済に大きく寄与したこと。まさに「マス」であり、「ファスト」である。「マス」は、マスプロダクションを起点としてマスマーケティング、マスセールス等を経てマスコンシュームを可能にした。大量生産によって単位あたりのコストは低減し、それに伴って価格も低下、もってモノ消費経済は進展した。他方、ファストフードからファストファッション、「ファスト」は、均一な「ready to」（すぐ食べられる・すぐ着られる）を可能にして、これまたモノ消費促進を加速した。

3. 現在進行中の生産性向上に向けた取り組み

では現在は、どのような生産性向上の取り組みがなされているのだろうか。

第1は、「モジュール化」である。独立したモジュールを相互に関係させてシステム全体を構成する。あるいは逆に、製品システムをいくつかの機能や構成に分割、インターフェースを標準化して、システム全体を機能的な集合体として再定義する。モジュール化すれば、機械の一部を変更/交換するだけで、新機能の追加や延命を図ることができる。つまり、システム全体を取り換える必要がなく、部品寿命に合わせて完成品の延命を図る対応が可能となる。

例えば、サントリー(株)では、飲料の製造プロセスにおいて、計装制御システムにモジュール設計を導入しているという。生産ラインの各部分がモジュール化され、特定の工程を効率的に管理するための自動化された制御装置が使われている。例えば、抽出機、冷却プレート、濾過器などの設備ごとに分けて、受入口と払出口に対応させた接続孔に接続確認用センサーを取り付け、接続状況を確認できるようにしている。また、モジュールごとの機能が明確なので、製造する製品や設備の故障時には、該当するモジュールだけを追加・交換すれば良く、ライン全体を停止させる必要がない。これらによって稼働率とメンテナンス効率が向上し、全体の生産性は向上する。さらに、このシステムは生産プラットフォーム的な役割も担えるので、複数の生産プロセスを統合・最適化する基盤になるという。

第2は、モジュール化と反対の「一体成型化」である。複雑な形状の製品を1工程で生産できるので、部品点数削減と部品の接続や組み立てにかかる時間とコストを削減できる。また、一体成型により構造が強化され、部品間の隙間がなくなるため、耐久性の向上が期待される。ただし、全体一体化のため、部分的な取替ができないので完成品延命をどうするかが、大きな課題となるだろう。

第3は、IoTセンサーとAIを活用した設備管理である。機械や設備の稼働状況をリアルタイムで監視し、異常を早期に検知することで、故障を未然に防ぎ、メンテナンスのタイミングを最適化することが可能となる。これは「モジュール化」「一体成型化」のどちらにも活用できる。例えば、(株)ブリヂストンでは、IoTとAI技術を活用してタイヤ生産の稼働状況を監視し、生産プロセスを最適化する最新システム「EXAMATION」を導入している。このシステムは、ICT技術とAIを組み合わせ、リアルタイムで機械の状態を監視し、従来は技能者の判断に依存していた品質管理や工程調整を自動化し、バラツキのない高精度な製品を安定的に製造できるようになったという。この生産工程の最適化は、IoTで得られたデータを前後工程や他システムと連携させることで、工場全体の稼働効率向上に寄与しているという。

4. 資源循環経済に向けた取り組み

4.1. 資源循環経済における生産機械・設備の役割

これらの生産機械設備が寄与してきた線形経済＝モノ消費主導経済はその限界を迎え、現在、資源循環経済への移行転換が人類全体にとっての喫緊の課題である。世界人口が82億人を超えて、2050年代には100億人を超えると予想されている。その一方で、環境汚染と資源枯渇（資源調達制約）が極度に高まり、現在の豊かさを維持するためには、資源1単位当たりで生み出される価値を最大化しなければならない。しかもその時、全体的な資源使用量は、基本的に現在世の中にあるモノ資源の総量を超えないことが前提になる。

そこで対処の基本が資源循環経済への移行転換となったのである。図式的には次のようになる。

【過去】線形経済（大量モノ消費主導経済）（大量生産・大量消費・大量廃棄）

【現在】3R付き線形経済（適時適量生産・適切消費・適正廃棄）

【将来】資源循環経済（極小生産・適小消費・無廃棄）

この資源循環経済の本質は「資源生産性」だ。またそれに基づいてビジネスを検討すると、従来の線形経済におけるビジネスの基本が「買い換え、買い増し/買い足し、買い揃え」であるのに対して「使い続け、使い倒し、使い切り」となる。この「使い続け」をさらに整理すると次のようになる。

(1)モノつくらず

資源生産性が最大になるのは「モノつくらず」である。商品価値をモノの所有価値からサービスの体験価値へと転換する（モノからサービスへの転換）。ただし、体験にはもちろんモノは必要である。

(2)モノなくし・モノへらし

次の段階は、モノをつくるとしても、原則として「必要最小限なモノしかつくらない」ことだ。従って、そこでは「モノなくし・モノへらし」が基本になるはずだ。

一つ目は、品種・品目を減らすことである。資源生産性の観点から言えば、例えばプラスチック製品における「軽薄短小化」などの既存製品の贅肉取りも重要だが、むしろ品種・品目を減らすことが最大効果をもたらすはずだ。例えば、スマホによって、固定電話、電話ボックス、薄型TV、デジタルカメラ、携帯音楽プレイヤー等の品種・品目が減少した。また複合事務機も同様に、個々のコピー機やスキャナーやファックスを大幅に減らした。両方とも、新しい品種・品目が従来あった個別の専用機群の品種・品目自体を大幅に「モノなくし・モノへらし」して資源効率性を高めたのである。

その要諦は、従来の単機能品を集約・汎機能化してアプリ（ソフトウェア）とクラウドを活用する製品の開発である。このような「品種・品目のリデュース」、「これ一台で済む」が求められるのだ。

ただし、スマホが多く機能を担うためには、クラウドへのアクセスが不可欠であり、その背後には、例えばデータセンターの機器等の高度・精密なモノが必須である。すなわち、資源効率性を高める「モノなくし・モノへらし」のためには、それを可能ならしめる「モノづくり」が実は必要なのだ。

二つ目は、モノの品数自体を減らすことである。これは3S化（サービス、シェアリング、サブスクリプション）が基本となる。例えば、一般乗用車の稼働率は、24時間・365日の僅か2%にしか過ぎない。理論上は、50台中49台は不要となる。近時、タクシーの運転手不足に対応して「ライドシェア」が再度議論され始めているが、実は、ライドシェアやカーシェアはモノへらしにも貢献するのである。

(3)モノの「使い続け」

第三は、従来の線形経済におけるビジネスの基本であった「買い換え、買い増し/買い足し、買い揃え」に替わり、つくったモノをできるだけ「使い続け・使い倒し・使い切り」することである。「使い続け」とは、例えば、自動車から冷蔵庫や洗濯機などの家電まで、あるいは生産設備から加工機械まで、全て二倍長く使えることができれば、資源消費量は半減するはずだ、という理屈に基づく。このことは「リユース」の前に、まず使い続ける「ユースの延伸」が必要であることを意味する。それに「リユースの繰り返し」が続くのだ。この「使い続け」のパターンは以下のとおりとなる。

①「そのまんま」的継続使用:既存品をそのまま自分が継続使用する。

②「メリカリ」的継続使用:飽きたり、技術的に陳腐化したので買い換えたい場合は、中古業者やメルカリ等を活用して、他人・他社に使ってもらえばよろしい。

③「別用途」継続使用:稼働性能が落ちてきたら、別用途で使用する。例えば、欧州のEV用電池は、EVで使えなくなったら、別用途（電動工具電源や自宅の予備電源等）で活用する「セコンドライフ」の法制化が始まった。

④「入替・取替」継続使用:ある部分がへたったら、それを入れ替えて使用し続ければよろしい。部品のリプレイス（入替・取替）や消費品のリフィル（再充填）である。新品への入替もあれば、解体した他の完成品の中で比較的良い部品に取替える場合もあるだろう

⑤「ドナー」的継続使用:逆に、全体がへたってもパーツがOKならば、そのパーツを同一用途で他者に活用してもらおう。いわば人間における臓器提供と同様である。

⑥「フランケンシュタイン的」継続使用:分解・解体後の良品パーツを集めて同一完成品を再構成する。

補足が三点ある。第一、ユースを延伸するためには「アンチエイジング技術（修理・修繕・強化・更新等の使い治し技術）」とメンテナンス等サービス等の開発が必須だ。企業の技術と営業体制の見せ所である。第二は、そのようなアンチエイジングしやすいデザインを予め設計段階で練り込んでおくこと（プレビルトイン）が必須である。B2C商品では、陳腐化しにくい飽きないデザインも求められる。

第三は、新古品や訳あり品等、生産したものの日の目を見ず処分されてしまいそうな品々を「再整備（リファビッシュ）」によって「使いはじめ」することも重要になる。

(4)モノはずし・ばらし、モノつぶし・くずし、モノはがし・ほぐし

では、リユースを終えて、もうこれ以上使い倒しができなくなったモノは、次に再生資源生産にし易い状態に持ち込むことが求められる。そのためには、製品を部品に、部品を部材に、部材を素材に、素材をさらに粒子・結晶、分子、原子へと小さくしていくプロセスが考えられる。ただし、分子・原子にすれば、それらを多様な素材として再合成し易くなるが、それには莫大なエネルギーが必要となる。熱力学とエントロピーの世界となり「モノ資源とエネルギー資源のトレードオフ」関係が生じてしまうのだ。

そこで、できるだけ部品や部材への分解に留めて再使用リユースに供しなければならない。すなわち「はずし・ばらし」という分解が一番なのだ。それから「つぶし・くずし」という破碎・粉砕、「はがし・ほぐし」という分離等のリサイクル準備段階へと向かう。

「分解」は手間暇がかかるので、従来は「モノつぶし・くずし」すなわち「破碎・粉砕」をしていた。例えば、自動車や家電などの機械モノの多くは一気にシュレッダーをかけている。粉砕は「圧縮」「衝撃」「剪断」「摩擦」等の力技によって行う。これまた膨大なエネルギーを必要とする。そして多くは人手に頼っているのが実状である。

部品レベルに「はずし・ばらし」した後の部材は、次に「接着」（コーティングやペインティングも含む）している素材を、その接着面（界面）を分離する。これには手間暇がかかるので、効果的効率的にできる技術が求められている。

これら一連のプロセスによって、使用済み製品を部品や部材ごとに適切な分解し、各部品の状態や素材の特性を把握し、再利用可能な部品や素材を効率的に取り出すことが重要となる。それにより、製品全体を廃棄するのではなく、個々の部品や素材を再生利用の対象とすることができるからだ。

その際、異なる素材や部品を分別できれば、それぞれの再利用やリサイクルに適した処理が可能となる。分別や分類の精度が高いほど、再生利用の効率が向上し、廃棄物の減少や資源の回収率が向上する。そして、これらは従来の「燃やす・埋める」という「適正処分」を最小限に留めること、さらに回収率を再生率へ結びつけることを意味している。また、これらのプロセスを省力化する強力な手段は「分解ロボット」の開発・活用である（後述）。

(5)モノ選び・分け・集め・貯めによる「モノ戻し」：ソーティングプラントとリソーシング産業

リサイクルは、「再生資源の生産」と捉えることが肝要だ。つまり、高度な技術を駆使して「分離・分解」を適切に行い「資源として再生」という「リソーシング（再生資源生産）」と捉え直すべきだ。廃棄物を再生材にするリサイクルではなく、多様な廃棄物の広域回収や自動選別技術を用いた高品質な再生材の安定供給を行うという観点で産業をとらえなおすのである。それを担うリソーシング産業は、「モノ選び・モノ分け・モノ集め・モノ貯め」というソーティング工程を担う。

日本は欧米と異なり、家電や紙などソーティング対象の資源を限定してきた歴史がある。今まではそれなりの効果があったが、現在は逆に部分解決・部分最適化であったという指摘が絶えない。限定的な製品以外は「適正処分」、すなわち焼却と埋め立てに頼ることになってしまっていたからだ。

他方、欧州では、ソーティング対象の資源が幅広いがゆえに、ごみの分別は日本ほど細かくなく、大雑把に分けて捨てるのが基本である。それを資源別に細かく分別するのが、ソーティングプラントの役割である。その技術は高度化が進み、センサーやAIなどを実装したハイテクのソーティングプラントも登場していると聞く。日本のリサイクル工場は基本的には焼却炉を中心としたもので、欧州と比べると遅れている感は否めないという。

従来のローテク中心のリサイクル産業をハイテクなリソーシング産業へ、廃棄物処理産業を再生資源生産産業へ転換していくにあたって政策面での誘導が背後にあるのが欧州。他方、日本はお得意の「部分最適・部分問題解決思考の癖」が限界を迎え、「産業規制はするけど、産業育成は下手」が露呈し始めているように見える。

そのリソーシング産業の中核ビジネスがソーティングプラントであり、そのための機械設備が求められるのである。

なお、最後には「モノ運び」が必要になる。そこで「資源循環圏」と呼ぶリソーシングエリアの構築がある。ここでは自治体をまたいで資源を動かす必要があり、資源の種類やサイズなどを勘案して、いかに効果的・効率的にソーティングプラントへ再生用の資源（従来は廃棄物と呼ばれていたもの）を届けるかが問われる。しかしながら現在の産廃法では、自治体を超える輸送には制約があり、そのため、大胆なリソーシングビジネスを起ち上げ難い。そこで、実態に即していない規制法の緩和が不可欠だ。い

まあ産廃法やリサイクル関連法は、廃棄物対策やゴミ処分を前提にしているため限界がある。それに関わる産業人も法的な制約だから仕方がないと諦め、ビジネスチャンスととらえることができていない。

ただし、丁寧にゴミ分別する日本人の気質は貴重であり、欧州のような資源循環をビジネスチャンスととらえる先進的なリソーシング産業が結びつき、それを支える法整備が進めば、日本は「稼げる資源循環立国」になれるだろう。そして、上述の一連のプロセスに必要な技術群を起点にするイノベーションこそが日本が向かうべき次のターゲットであろう。（なお、リサイクルし易いように予め設計するプレデザインと再生素材に関する知財・標準マネジメントが重要となるが、紙面の都合で省略する）

5. モノ再生に寄与する生産機械・設備

資源循環経済における機械設備はどのようなものか、ここでもう一度整理しておこう。

第1、回収した既存製品を再生産循環化する機械設備。例えば、Apple はリサイクル可能な部品や部材にする再生用ロボットを活用して、再生材料活用への道筋を試行している。「Daisy」というロボットはiPhone を効率的に分解し、リサイクル可能なパーツへと分類する。「Dave」はTaptic Engine を分解し、そこから貴重な素材を回収する。また、「Taz」は粉碎技術により磁石を分離し、希少な希土類元素を回収している。これらの活用により Apple は資源の循環的再利用を促進することを通じて一次資源、バージン材の調達を最小限に抑えることができるのである。

第2、廃棄物から高純度な再生材料を選別し、再び利用可能な状態に加工処理する機械設備。製品品質保証を制約条件として、効果的・効率的な資源再利用を可能にさせる。

第3、ソーティングプラントにおける機械設備。

第4、再生材料を活用した再生「新品」の生産機械設備。これにより、従来の新品材料に頼ることなく、環境負荷を低減しながらも、持続可能な形で製品の製造が可能になる。

ただし、これらの機械設備自体はメンテナンスとリペアがし易く、もってユースの延伸とリユースの繰り返しができ、最終的にリサイクルであるようにしてすることも基本条件となる。そしてこれらの機械設備に実装される技術は、資源循環経済の実現に向けた持続可能な生産システムを支えるものとして、イノベーションターゲットになるはずだ。今からしっかり手を付けるべきである。

6. 考察：線形経済における機械設備と資源循環経済における機械設備の相似と相違

最後に、線形経済における機械設備と資源循環経済における機械設備の相似と相違に関して考察を行うことにしよう。両者は対立関係にあるのだろうか、それとも共通点を持つ関係なのだろうか？

線形経済で培った生産性を体現する生産機械設備が資源循環経済にも貢献しうるためには、以下の2点が重要な検討点になるのではなかろうか。

第1に、どうすれば「モノづくり」に貢献してきた技術群を、「モノばらし」から「モノはずし・ばらし」「モノはがし・ほぐし」に至る一連のプロセスに資するように転用されうるか？

第2に、「モノづくり」の機械設備と同様に、「モノばらし」等においても多品種少量解体ができるか？ 解体に持ち込まれる製品は多様で少量であることが想定されるからだ。そこで「モノばらし」等を行う機械が多品種対応できる汎用性を持つことが好ましい。ここでも「これ1台」が望まれるのだ。

つまり、生産機械や設備を使い続けるための方策を考える上で、線形経済と資源循環経済の違いを理解しながらも、両者に共通領域が存在することを認識することが必要ではなかろうか。

線形経済では、主として労働生産性の向上を追求し、高速化、高精度化、複合化、自動化などの技術革新が推進されてきた。他方、資源循環経済においては、資源生産性の向上が求められている。一見対立するように見えるが、同じモジュールを異なるプロセスに適用できる汎用性のある機械を開発することで、無駄なく多様な作業に対応可能となり、設備の切り替えや新規導入コストを削減できるだけでなく、機械のライフサイクル全体にわたって利用価値を最大化することが期待できるのではないかと。また、汎用的な機械設備が、解体やリサイクル工程に適応することで、機械や設備の使い続けに寄与し、新たな資源投入を抑えつつ多様な生産に対応できるようになるのではないかと。さらに、機械が使用不能になっても、部品、部材、素材の各レベルでのモノばらしが可能であれば、リユースやリサイクルの効率を向上させることができるようになるのではないかと。

7. むすび

本論では、関連する事例を含め、資源循環経済における「モノづくり」に関する生産機械設備について検討を行ってきた。今後、資源調達が難しくなっていく中で、手元にある資源をいかに有効活用するか、

つまり「資源生産性」を高めることが求められる。そのためには、「手持ちの既存品を長く使い続けること」（＝使い続け）、新たにつくるならば「一台数役」（汎用品をつくりソフトで専用化）や「再生資源活用製品」（脱・バージン材・新型・新品モノづくり）等が重要だ。そして「健康寿命・アンチエイジング技術」や「輪廻転生技術」を予め埋め込んでおくことと、「手持ちの使用済み製品をゴミではなく資源として活用すること」（＝リソーシング）が、資源循環の基本となる。

従来のモノづくりでは、生産性向上を基本に、効率化とコスト削減を念頭に置いた機械や設備の開発が進められてきた。これらの取り組みは、企業の競争力を高めるとともに、大量生産を実現するうえで大きな成果を上げてきた。だが、今後の資源循環経済においても、この効果的効率性を基盤とした生産性を形成する技術の多くは、資源生産性からも有効であると考えられる。限られた資源を最大限に活用してムダ・ムリ・ムラを削減する取り組みは、持続可能な社会の構築においても重要な役割を果たすと期待できる。さらに今後は、生産機械や設備がそのライフサイクル全体で使い続けられるようにする視点が求められる。モノづくりに留まらず、製品使用後のリユースやリサイクルにも生産機械や設備が活用できる設計が必要であり、それにより、設備の再利用や再資源化が促進され、資源の有効活用と環境負荷の軽減が実現されるだろう。それは今後のイノベーションターゲットを示唆するものでもある。

参考文献（Web サイトは最終アクセス日：2024年9月XX日）

- 【1】日研トータルソーシングウェブサイト「第5次産業革命（インダストリー5.0）とは？日本の製造業・Society 5.0との関係を考察」（<https://www.nikken-totalsourcing.jp/business/tsunagu/column/1881/>）
- 【2】今村聡、徳永仁史「工作機械におけるモジュール化設計と再構成」『精密工学会誌』第66巻7号通巻787号、2000年7月
- 【3】サントリー株式会社 計装制御方法および計装制御システム、特許第4646677号、2010-12-17
- 【4】株式会社ブリヂストン「ブリヂストン独自のモノづくり ICT を搭載 最新鋭タイヤ成型システム「EXAMATION」を彦根工場に初導入」（<https://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2016052502.html>）
- 【5】Apple Inc. 「製品全体で再生素材の利用を拡大」（<https://www.apple.com/jp/newsroom/2022/04/apple-expands-the-use-of-recycled-materials-across-its-products/>）
- 【6】岩井綾子、妹尾堅一郎、伊澤久美、宮本聡治「サーキュラーエコノミーにおける「カスタマイズ」とは何か：資源循環経済におけるビジネス概念に関する一考察」研究・イノベーション学会 第37回年次学術大会（2C21）、2022年
- 【7】村松竜弥、妹尾堅一郎「モノなくしのためのモノづくり」とは何か：サーキュラーエコノミーにおけるモノづくりに関する一考察」研究・イノベーション学会 第38回年次学術大会（2F22）、2023年
- 【8】妹尾堅一郎「イノベーション、活かすも殺すも、制度次第～サーキュラーエコノミーがアジャイルガバナンスを必要とする理由～」1B06、研究・イノベーション学会、2023。
- 【9】妹尾堅一郎、伊澤久美、宮本聡治「サーキュラーエコノミーにおける「モノつかい続け」～「ユースの延伸とリユースの繰り返し」を支援する産業の育成に関する一考察～」（口頭）、2C23、研究・イノベーション学会、2022。
- 【10】妹尾堅一郎、伊澤久美、宮本聡治「脱「バージン材・新品モノづくり」がもたらすイノベーション～モノづくりの変容と多様化とそれに資する関連技術群～」第36回年次学術大会、2C22（口頭）、研究・イノベーション学会、2022。
- 【11】妹尾堅一郎「「使用・再使用」を経てリサイクル～資源循環前提のモノ設計を」『日刊工業新聞 オピニオン講演』2022年1月10日
- 【12】妹尾堅一郎、伊澤久美、宮本聡治「サーキュラーエコノミーの含意を整理する～循環経済の概念群に関する一考察～」、1B06、研究・イノベーション学会、2021。
- 【13】妹尾堅一郎、伊澤久美、宮本聡治「資源循環立国と静脈産業技術開発～循環経済社会構築に関する一考察～」、1B04、研究・イノベーション学会、2021。
- 【14】妹尾堅一郎「“新品生産販売主義”から“既存品継続使用主義”へ～サーキュラーエコノミーに対応する“3Rの脱構築”に関する一考察～」、1A03、研究・イノベーション学会、2019。
- 【15】妹尾堅一郎「技術起点型から社会文化起点型へ～サーキュラーエコノミーによるイノベーション起点の重点移行～」、1A02、研究・イノベーション学会、2019。
- 【16】妹尾堅一郎「妹尾教授のビジネス探訪～新潮流のBusiness 航海術～」、月刊時局、連載第1回（2017.04月号）～第90回（2024年10月号）、時局社、2017～2024（継続中）。
- 【17】妹尾堅一郎「講演：オピニオン」『日刊工業新聞』、2021/10/04～2024/3/04、日刊工業新聞社。
- 【18】妹尾堅一郎「「買い換え」から「使い続け」へ～循環経済の概要・本質・基本を知り、対応を検討・実行する～」、連載「事業と知的財産、その関係を問う」第1回、『知財管理』Vol. 74 No. 7、2024、（一社）日本知的財産協会（2024）
- 【19】妹尾堅一郎「循環経済というビジネスモデル大乱世をどう生き抜くか（前編）～買い替えから「使い続け」へ。モノづくりと価値モデルのイノベーション」、TALKING POINTS、『ダイヤモンドクォーターリー』、2024夏号、ダイヤモンド社。妹尾堅一郎「循環経済というビジネスモデル大乱世をどう生き抜くか（後編）～日本企業の宿題「イノベーション」を後略せよ」、TALKING POINTS、『ダイヤモンドクォーターリー』、2024秋号、ダイヤモンド社。