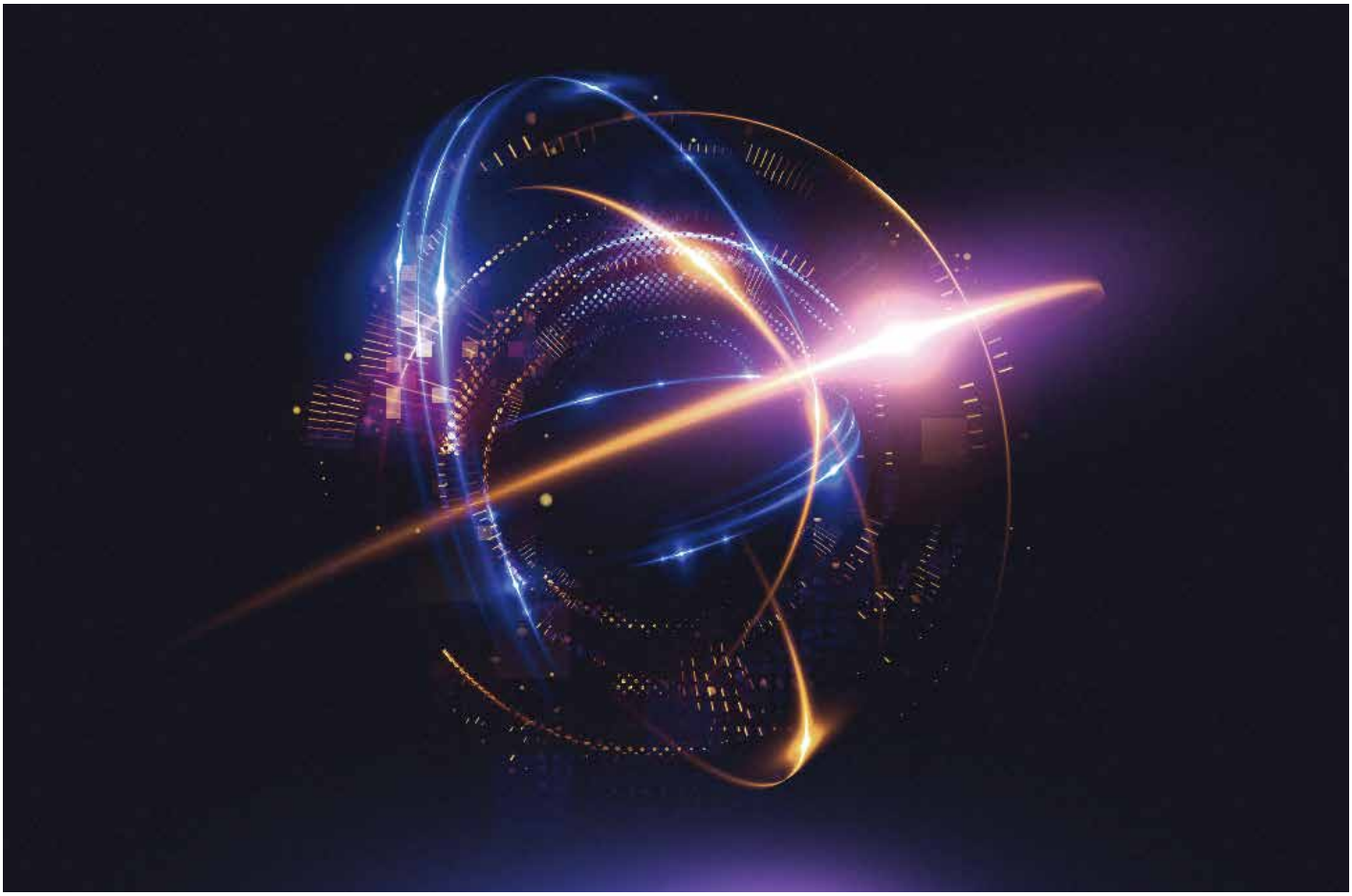
Deloitte.
デロイト トーマツ



扉 Vol. 34
Strategy insight for chemical industry

高度な全体最適が求められる サーキュラーエコノミー
～最適化手法としての量子アニーリングのポテンシャルを探る～

1. はじめに

サーキュラーエコノミー（循環型経済）とは、従来の3R（Reduce, Reuse, Recycle）の取り組みを拡大し、新規の資源投入量・消費量を抑え、既存資源を可能な限り再利用しながら、付加価値を生み出す経済活動[1]である。

環境保全の観点から見た、サーキュラーエコノミーの具体的なメリットとして、「資源枯渇の抑制」「廃棄による環境破壊の抑制」「廃棄物焼却に伴うGHG排出の低減」等が想定されている。また、昨今のグローバル経済の不確実性に鑑みれば、グローバルサプライチェーン寸断や原材料価格の大幅な変動といったリスクを一定程度回避できる、という事業推進上のメリットも、今後ますます重要性を増すだろう。

いわば、サーキュラーエコノミーは、「環境回復・保全」と「持続的な経済活動」の両立を実現するための、壮大な仕掛けと言える。

製造業をはじめ、多くの企業にとって最重要経営課題の１つとなったサーキュラーエコノミーであるが、その構築と推進は容易ではない。様々な課題・ハードルが想定されるが、化学メーカーの視点では、大きく３つに集約されると考える。

① ケミカルリサイクル技術の確立
　多様なプラスチック製品・原料を供給している化学メーカーにとって、循環プロセスを成立させるためには、解重合技術等を適用した高度なケミカルリサイクル技術が必要
② サーキュラーエコノミー型サプライチェーンの確立
　バージン原料と再生原料、中長期的にはバイオマス由来原料の投入が想定される中、メーカー、廃棄物処理企業や行政等、これまでには無かったマルチステークホルダー間の連携が必須
③ 継続的な環境変化への対応
　バイオマス由来製品の増加や将来のプラスチック消費量の減少等に対して、収益性を確保し続ける必要

ケミカルリサイクル技術の確立については、現在でも技術実証・事業化が着実に進められている。これに対して、②・③は、今後検討が本格化していくと考えられるが、スコープが広く、変数も多いだけに、個別課題の潰し込みだけでは太刀打ちできない、非常に大きなテーマと言えよう。

このような認識の下、本稿では、「循環プロセス型サプライチェーン計画立案」における、量子アニーリング方式の量子情報技術（以下、量子アニーリング）の適用可能性について考察した。

量子アニーリングとは、「組み合わせ最適化問題（目的関数の値の最大化あるいは最小化）」に強みを持つ情報処理技術とされ、量子力学の原理を利用することから、その高い処理効率が注目されている。

量子アニーリングをはじめ、様々な最適化手法や計算アルゴリズムは、いずれも手段であり、目的はあくまでビジネス課題の解決であることは言を俟たない。しかしながら、実証や事業化が急速に進められている量子技術が、同じ実証・事業化ステージにいる「サーキュラーエコノミー」の本格拡大に、どのようなインパクトをもたらし得るか。これは極めて興味深いテーマであり、想定されるインパクトやポテンシャルを本稿で探ってみたい。

2. サーキュラーエコノミー実現に向けた取り組みの拡大

英国人冒険家のエレン・マッカーサーは、「地球環境から採取した資源を使って物を作り、使用し、捨てる」という線形経済から、循環型経済への転換を実現すべく、2010年にエレン・マッカーサー財団（The Ellen MacArthur Foundation）を設立した[2]。

設立後、10年以上が経過した当財団は、グローバルパートナーとして、多くのグローバル企業が名を連ねており、各国政府や企業のサーキュラーエコノミー推進を強力にサポートしている。2013年には、サーキュラーエコノミー実現を目的としたプロジェクトを推進するプラットフォーム「CE100」を立ち上げており、2018年には日系企業としてはじめて、ブリヂストンが参画し、2019年には日系化学メーカーとしてはじめて、三菱ケミカルホールディングス（現三菱ケミカルグループ）が参画した[3]。

また直近の国内動向としては、2022年10月に経済産業省 産業技術環境局が、「成長志向型の資源自律経済デザイン研究会と資源自律経済戦略企画室」を立ち上げている[4]。

当研究会は、カーボンニュートラルに向けた機運の高まりやウクライナ情勢の不安定化による資源エネルギーの供給不安等を背景として、「各界の近視眼的な利益を離れて、成長志向型の資源自律経済の確立に向けた総合的な政策パッケージの検討を進める」としている[5]。

今や、サーキュラーエコノミーは、資源維持・環境保全だけでなく、一国の経済基盤の維持・強化においても必要不可欠な要素となっている。

3. プラスチックリサイクルの現在地と今後の展開

期待される廃プラスチックのケミカルリサイクル拡大

経済活動によって生み出されるモノの多くが、サーキュラーエコノミーの対象となるが、中でも、「サーマルリサイクル」という、カーボンニュートラルに逆行する方法でその多くが処理されてきた「プラスチック」は、循環プロセスが強く求められている製品と言えよう。

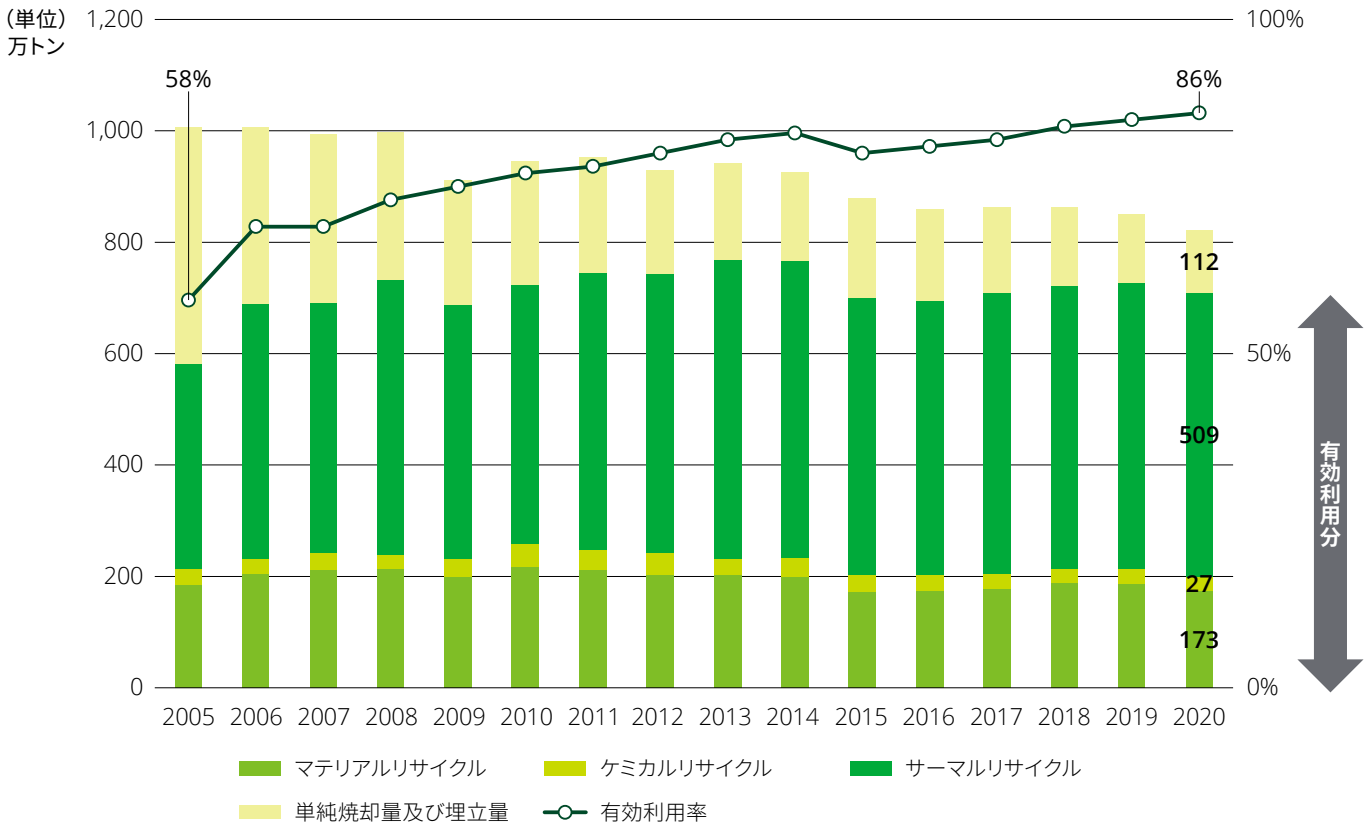
サーマルリサイクルとは、プラスチックをゴミとして焼却して発生した熱を発電や熱源に利用する手法であり、脱炭素・低炭素の観点では、リサイクルとは見なされていない。

2020年の国内廃プラ総排出量「822万トン」のうち、サーマルリサイクル量は、509万トン（約62%）と突出している。また、2011年から2020年までの10年間、国内廃プラ総排出量は、100万トン以上、減少した一方で、サーマルリサイクル量は、500万トン前後を横ばいで推移している。つまり、この10年間、カーボンニュートラルに逆行する動きが継続されてきたことになる[6]（図1）。

時代背景や技術的な制約等から、サーマルリサイクル主体の処理はやむを得ない面があった。しかし今後は、カーボンニュートラルに向けた政府目標等を踏まえた上で、サーマルリサイクルの「ケミカルリサイクルへの転換」や、原料・製品のバイオマスシフト等を本格的に推進しなければならず、対応は待ったなしの状況である。

本稿では、このような社会的要請や化学・素材メーカーへの期待等を踏まえて、「廃プラリサイクル」にフォーカスを当てつつ、量子アニーリングのポテンシャルを考察していきたい。

図1. 本国内における廃プラスチックのリサイクル状況



出所：プラスチックリサイクルの基礎知識2022（一般社団法人 プラスチック循環利用協会）を基にデロイト作成

廃プラスチックのリサイクルプロセス確立に必要不可欠な要素

廃プラスチックのリサイクルプロセスは、従来型の調達・製造プロセスに対して、「回収」「再生処理」という2つのステップが加わる。この両輪が、従来型の既存プロセスと結合することで、循環プロセスが成立する（図2）。

廃プラスチックのリサイクルプロセス概要

【回収プロセス】

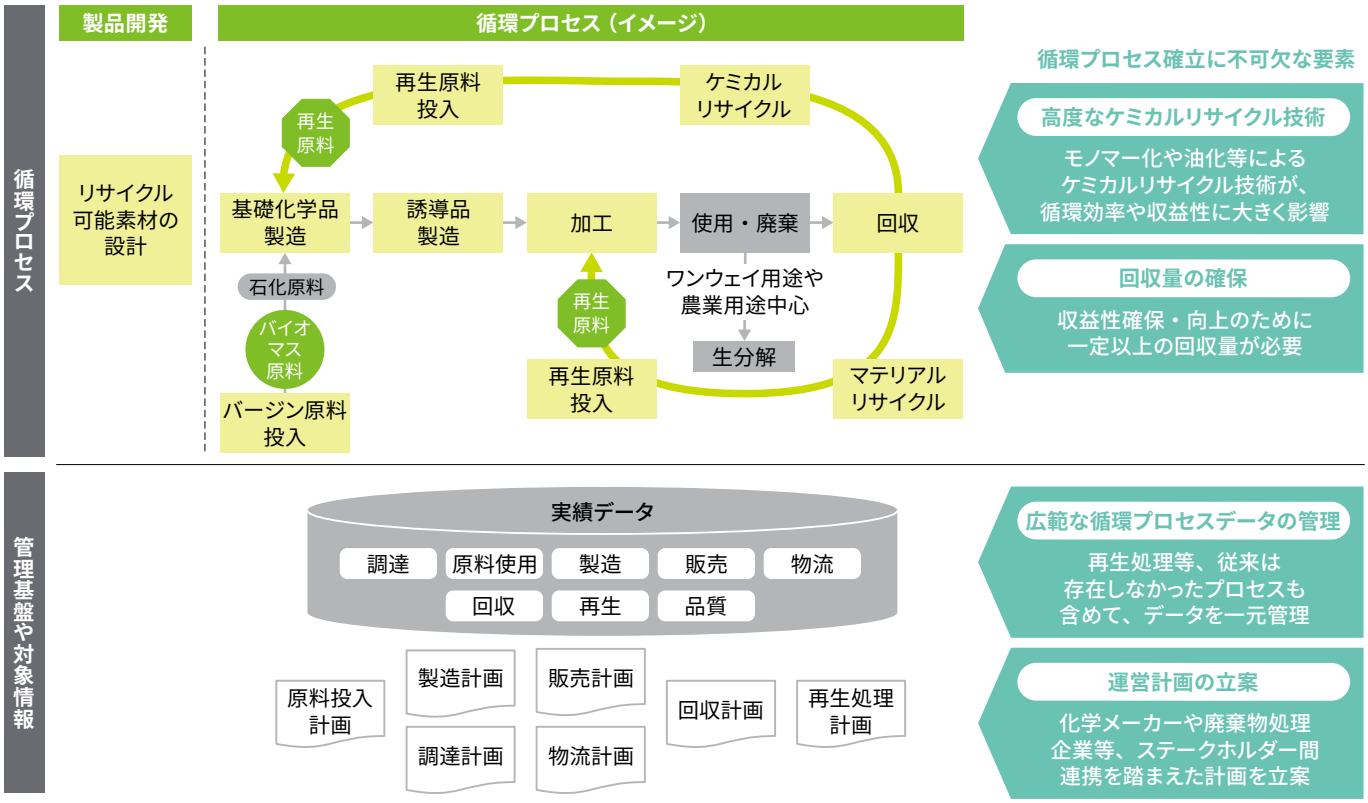
- 品目によって様々なパターンがあるが、例えば容器包装リサイクル法で定められた「容器包装[7]」であれば、消費者が分別排出したものを、市町村が分別収集し、リサイクル事業者へ引き渡す。具体例として、PETボトルやPETボトル以外のプラスチック製容器包装が挙げられる。

【再生処理プロセス】

- 廃プラスチックを再生原料へ転換する機能であり、大きくマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルの２種類がある。前者は既に一定程度普及しており、例えば「PETボトル ➡ PETボトル原料」のように、物理的な粉砕・洗浄等により原料として再利用可能となる化学品に適用される。他の製品と混ざり合ったりしない「クローズドループ」が成立する製品に関しては、マテリアルリサイクルが効率的である。
- これに対して、社会全体がサーキュラーエコノミーに移行するためのカギとなるのが、ケミカルリサイクルであり、ガス化・油化・モノマー化等、複数の方式に関して技術開発・実証が急速に進められている。マテリアルリサイクルを適用できず、サーマルリサイクルにおいて焼却されていたプラスチックの多くが、ケミカルリサイクルによって、環境に負荷をかけずに処理されることが期待される。

これまでもリサイクル自体は広く行われており、プロセスそのものは比較的シンプルである。しかし、サーキュラーエコノミーとしての実現、つまり事業化には、図２右側「循環プロセス確立に不可欠な要素」にあるように、次世代リサイクル技術の開発から、メーカーと行政との連携、データ管理基盤の構築まで、多種多様な取り組みを、並行かつ整合性をとって進めていく必要がある。

図2. プラスチック循環プロセスの全体像



絶え間ない変化への対応が求められるリサイクルプロセス

本稿における、そもそもの問題意識は、「様々な計画立案業務に適用されている量子アニーリングを、循環プロセス型サプライチェーン計画立案に対しても適用できないのか」というものである。

次章で計画立案業務への適用事例・実証事例を一部紹介するが、その前に、図2「運営計画の立案」における量子アニーリング適用に関して、初期仮説を設定しておきたい。

上記の「回収プロセス」「再生処理プロセス」は、リサイクル特有であるため、これに対応した「廃プラスチック回収・運搬計画」「廃プラスチック再生処理計画」が、新たに対応を検討しなければいけない領域となる。但し、回収・運搬計画は、物流計画の一環であり、再生処理計画は、生産計画の一環と考えれば、量子アニーリングのような先進技術を適用せずとも、「これまで適用していた仕組み及びその応用」によって、何らかの計画を立案することは可能であろう。

しかしながら、量子アニーリングを適用する余地は全く無い、と言い切れるだろうか。この疑問を解く上で注目したいのが、サーキュラーエコノミー、特に廃プラリサイクルプロセスを取り巻く環境の変化である。

この変化が大きいほど、想定される計画パターン、すなわち「組み合わせ」が膨大となる可能性があり、最適化問題に強みを発揮する量子アニーリングが、ソリューション候補の1つとして俎上に上がってくると考える。

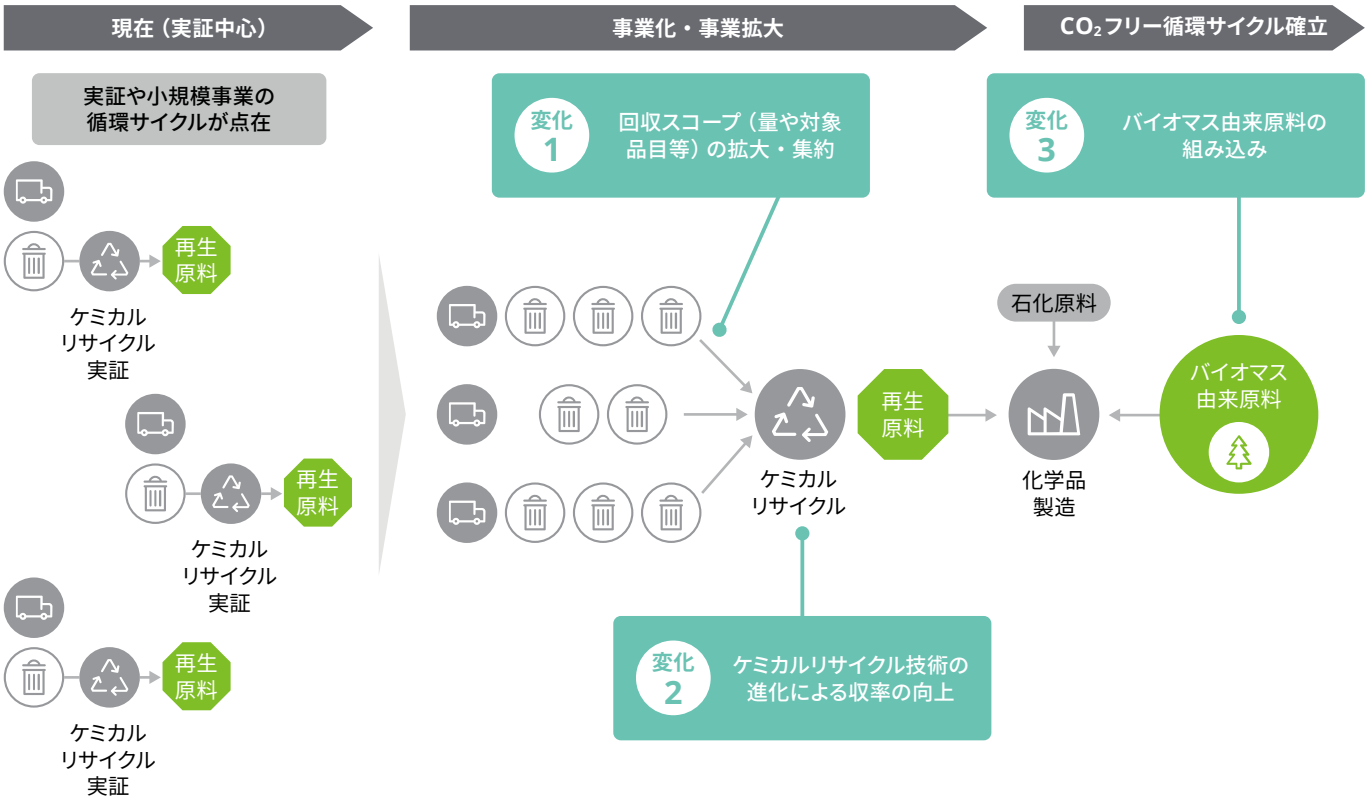
では、廃プラリサイクルプロセスを取り巻く環境の変化とは、具体的にどのようなものなのか。技術面・事業面から想定される、3つの大きな変化を図3に示す。

変化①「回収スコープ拡大・集約」に関しては、廃プラに限らず、サーキュラーエコノミー全般の最重要課題である。バージン原料調達を大前提としていた事業モデルから、廃プラ由来原料へ一部シフトするにあたり、いかに大量かつ安定的に調達できるかが、事業成立の生命線である。

今後、市町村単位から都道府県レベルへの回収スコープ拡大等、廃プラ争奪戦の激化を通じて、一定以上の規模を有するリサイクル経済圏の形成が各地で進むであろう。その際、規模が拡大したがゆえに、計画立案の重要性が高まることは十分あり得る。

変化②、③も併せて、計画立案に対する影響については後述するが、これらの変化にさらされる中で、廃プラリサイクルにおける、計画立案・意思決定の複雑さが高まることは確実と言える。かかる状況下で、回収・運搬や再生処理の計画最適化のために、量子アニーリング適用を検討することは、一定程度、合理性があると考える。

図3. 循環プロセス運営において想定される様々な変化



4. 廃プラリサイクルにおける量子アニーリングの適用可能性

そもそも「量子アニーリング」は、何をどう最適化するのか？

「はじめに」でも言及しているが、量子情報技術の１つとして「量子アニーリング」という方式があり、その特性から、組み合わせ最適化問題に強みを発揮するとされている。東京工業大学の西森秀稔教授と当時指導学生であった門脇正史氏[8]が1998年に公開した論文において、現在広く使われている形で提案・定式化された[9]。

「量子アニーリング」は、最初は、磁性体のイジングモデルの基底状態を、量子力学的な揺らぎを利用して探索する方法として考案された。一方で、社会的課題を広く「組み合わせ最適化問題」として表現できることから、量子アニーリングをハードウェアの動作原理として実装したのが、カナダのD-Wave Systemsである[10]。

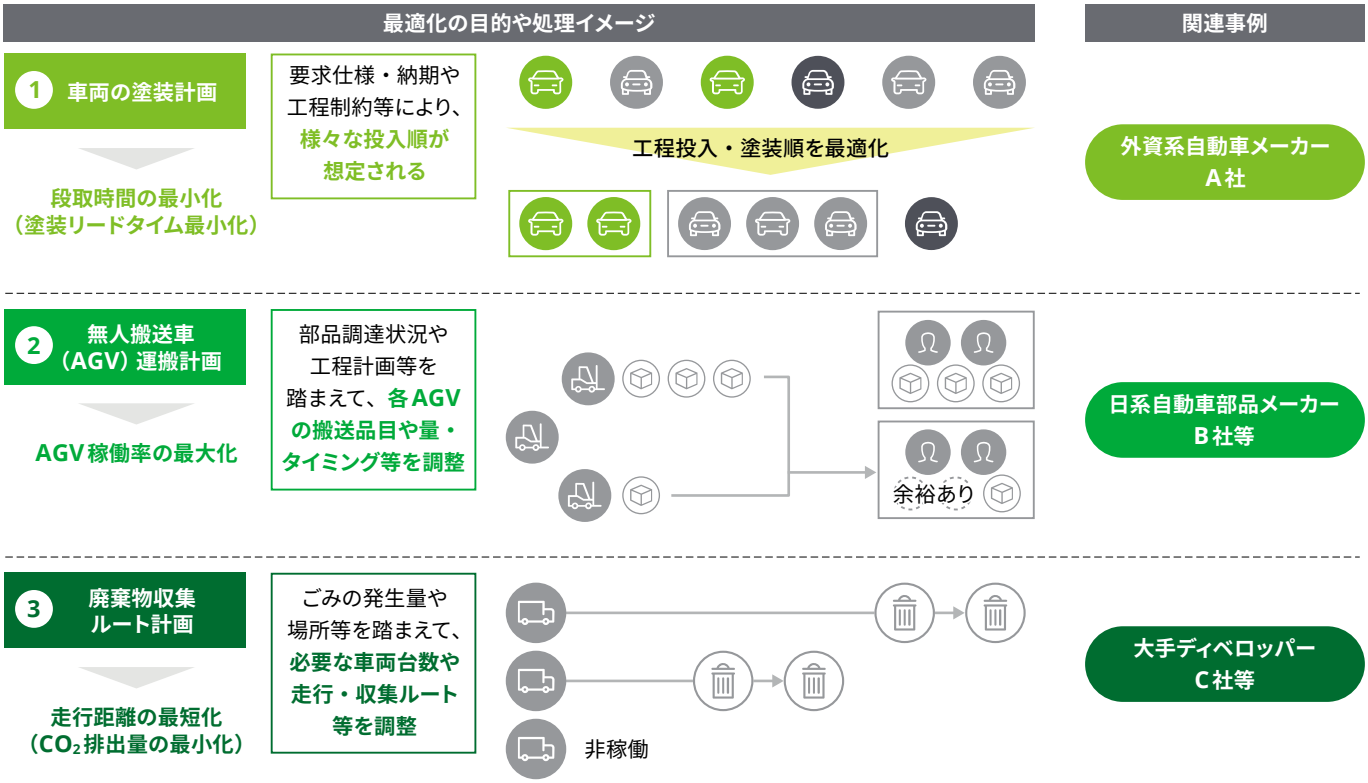
以下、組み合わせ最適化問題に関するD-Waveマシン上での適用事例を俯瞰することで、「量子アニーリング」の直感的な理解を試みたい。ここで紹介する事例としては、「廃プラリサイクルへの適用」を念頭に、「運搬計画最適化」「生産計画最適化」を目的とした３つを選定した（図４）。

組み合わせ最適化問題とは、「離散値をとる多くの変数があるとき、それらの１価関数（コスト関数、目的関数）を最小化ないし最大化する問題[11]」であるが、この命題に対して、量子アニーリングは、「隣接するもの同士を、いかに全体最適の観点で処理するか」という発想でアプローチする。

例えば、図４の事例①「車両の塗装計画の最適化」では、指定された色味や車種等の共通性を踏まえて塗装を行うことが、コスト低減やリードタイム短縮に繋がる。向こう数か月あるいは１年以上、という期間において、受注情報が見えているのならば、様々な塗装順を想定して、計画を立案・最適化することが、収益面・リソース管理面で大きな効果をもたらすであろう。

上記の「隣接するもの同士」とは、このケースで言えば、「次々に塗装ラインを流れる車両」が該当する。まずは、このような「並び順最適化」が、量子アニーリングが得意とする領域の１つであることを押さえておきたい。

図4. 膨大な選択肢から最適解を求める問題の例



出所：外部公開情報を基にデロイト作成

廃プラリサイクルにおける量子アニーリングの適用イメージ（仮説）

量子アニーリングの代表的な適用パターンを共有したところで、改めて、原理やアルゴリズムの概要について、ビジネス課題解決に関係する部分を中心に説明したい。

図５で、量子アニーリングを利用したビジネス課題解決アプローチの全体感を示した。ここでの前提として、「ビジネス課題＝運搬距離の最短化（運搬コスト最小化）」としている。

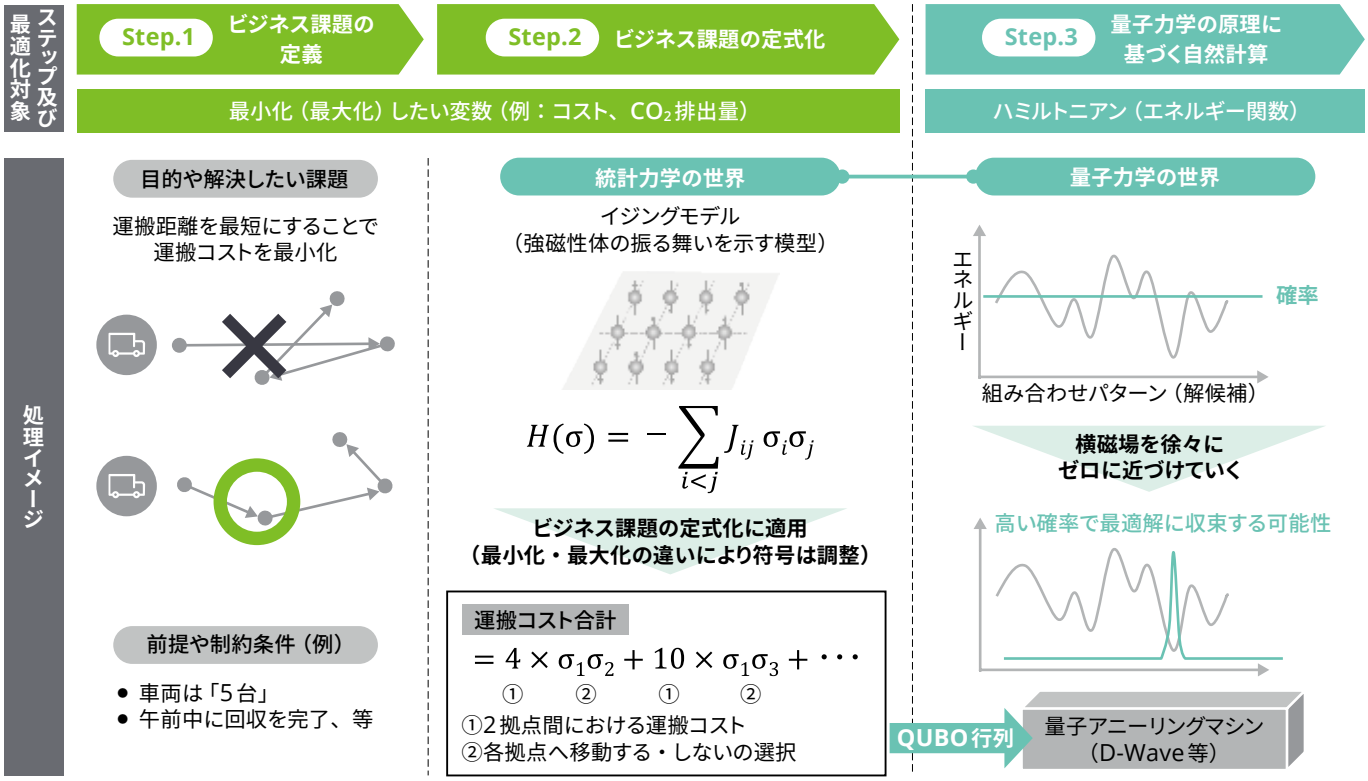
量子アニーリングによる最適化アルゴリズムの骨子は、「課題に対応した目的関数（今回は、運搬コスト関数）を、制約条件等と併せて量子アニーリングマシンに投入する。その後は、人が作りこんだアルゴリズム等ではなく、量子アニーリングマシン内の自然計算に任せて、最適解（コスト最小値）に相当するエネルギー値を求める」というものである。

図５のStep.2における上から下への流れを見てほしい。量子アニーリングは、「磁性体のイジングモデルの基底状態を探索すること」を、「ビジネスにおける目的関数の最適解探索」に応用したものである。よって、この両者の共通性に関するイメージを持っておくことが、ビジネス課題解決における量子アニーリングの原理を理解する上で、極めて重要となる。

また、実践においてハードルになるのも、この「Step.2 ビジネス課題の定式化」であろう。この関門について、具体的なイメージを持てるよう、以下では、廃プラの回収・運搬を題材として「ビジネス課題の定式化／イジングモデルへの落とし込み方」を考えてみたい。

なお、定式化の検討にあたり、基本的な考え方は、組み合わせ最適化問題の代表例として頻繁に取り上げられる「巡回セールスマン問題」をベースとする。

図5. 量子アニーリングを利用したビジネス課題解決のアプローチ（イメージ）



出所：西森秀俊、大関真之：量子アニーリングの基礎（2018）共立出版、西森秀稔教授ホームページ QA、NEC 白根昌之「量子コンピュータの動作原理と研究開発状況」を基にデロイト作成

図６左側のＡ及びＢは、複数の廃プラ回収拠点を回るルート選定の一例を示している。Ａにおける選定ルートによって、車両が移動する拠点間の距離（＝コスト）が変わり、ひいては、回収ルート全長や運搬コスト合計が変わってくる。そして、Ｂが「どの回収順において、どの回収拠点を回るか」の組み合わせを、「０ないし１」で表現したものである。この情報の「１」を繋いだものが、回収ルートであり、拠点数によっては無数の候補ルートが出てくることになる。

ここまでは、量子力学の原理等とは全く関係のない、ビジネス構造や課題の可視化であるが、表にあるような０・１形式での表現に落とし込むことが、量子アニーリング適用にあたって後々効いてくる。

図６右側にある数式は、当ケースの簡略化したハミルトニアン（ビジネス視点で言えば、目的関数としての、運搬コスト関数）である。量子アニーリングでは、この運搬コスト関数が、前述の「イジングモデルの基底状態」、すなわちビジネス視点の最適解（この場合は、最小コスト）を与えてくれる。

そして、この処理を量子アニーリングマシン内で実行するためには、大きく２つの情報が必要になる。

（図６右側：Ｂ）拠点間移動の意思決定を、「０（移動しない）ないし１（移動する）」で表現

➡ 左側の表と、実質同じ情報であるが、これをイジングモデルに落とせる表現にする

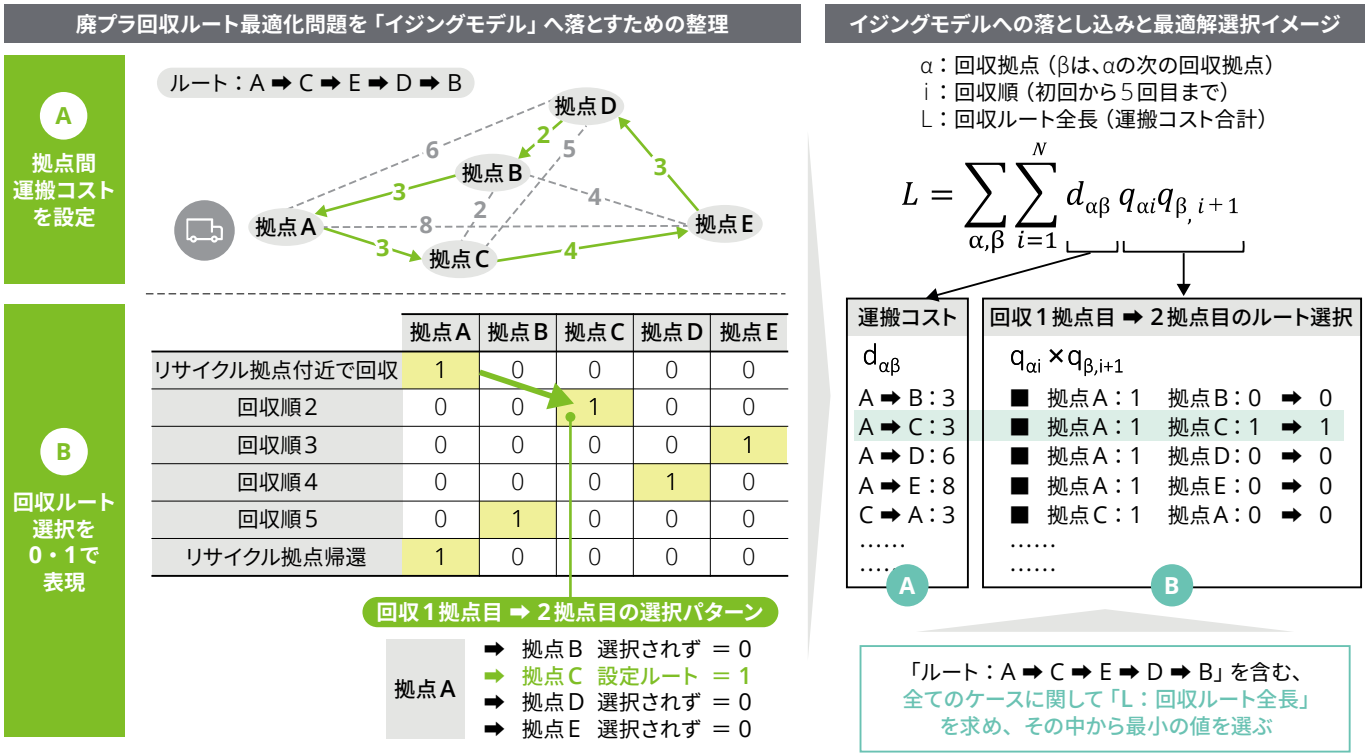
（図６右側：Ａ）拠点間運搬コストを、「０・１」の組み合わせにかける「係数」として表現

➡ これは、相互作用係数と呼ばれるもので、コストの大小を表す

取り得る手段や意思決定における分岐点が多ければ多いほど、組み合わせ（解の候補）が膨大な数に及ぶ可能性があるものの、上記２つの情報表現形式に落とすことさえできれば、量子アニーリングマシンにおいて基底状態を探る、つまり（上記ケースであれば、）コスト関数における最小値を探る、というステップにたどり着ける。

（補足：例えばD-Waveで最適化問題を解くには、イジングモデルと等価のQUBO（Quadratic Unconstrained Binary Optimization）行列が必要になる等、実際に処理を行うためには様々な手順が必要となる。）

図6. 廃プラ回収・運搬プロセスにおける量子アニーリング適用イメージ（仮説）



出所：西森秀俊、大関真之：量子アニーリングの基礎（2018）共立出版、西森秀稔教授ホームページ QAを基にデロイト作成

廃プラリサイクルは、複雑な最適化問題になり得るのか？

ここまで、量子アニーリング方式による情報処理の「型」を見てきたが、改めて、廃プラリサイクルへの適用について考えてみたい。

図３で示した今後想定される環境変化が、実際にリサイクルプロセスやサプライチェーン全体に影響を及ぼし始めた時、計画立案業務がどれだけ複雑化するかを紐解いたのが、図７である。

図７から言えるのは、計画立案において考慮すべき様々な要素を、互いに関係づけるならば、つまり「あちらを立てれば、こちらが立たず」という、全体最適志向で計画を最適化しようするならば、取り得る選択肢は、指数関数的に増加するということだ。見方を変えれば、循環プロセスの全体最適を実現しようとした時、量子アニーリングが活きる可能性が高まってくるとも言えよう。

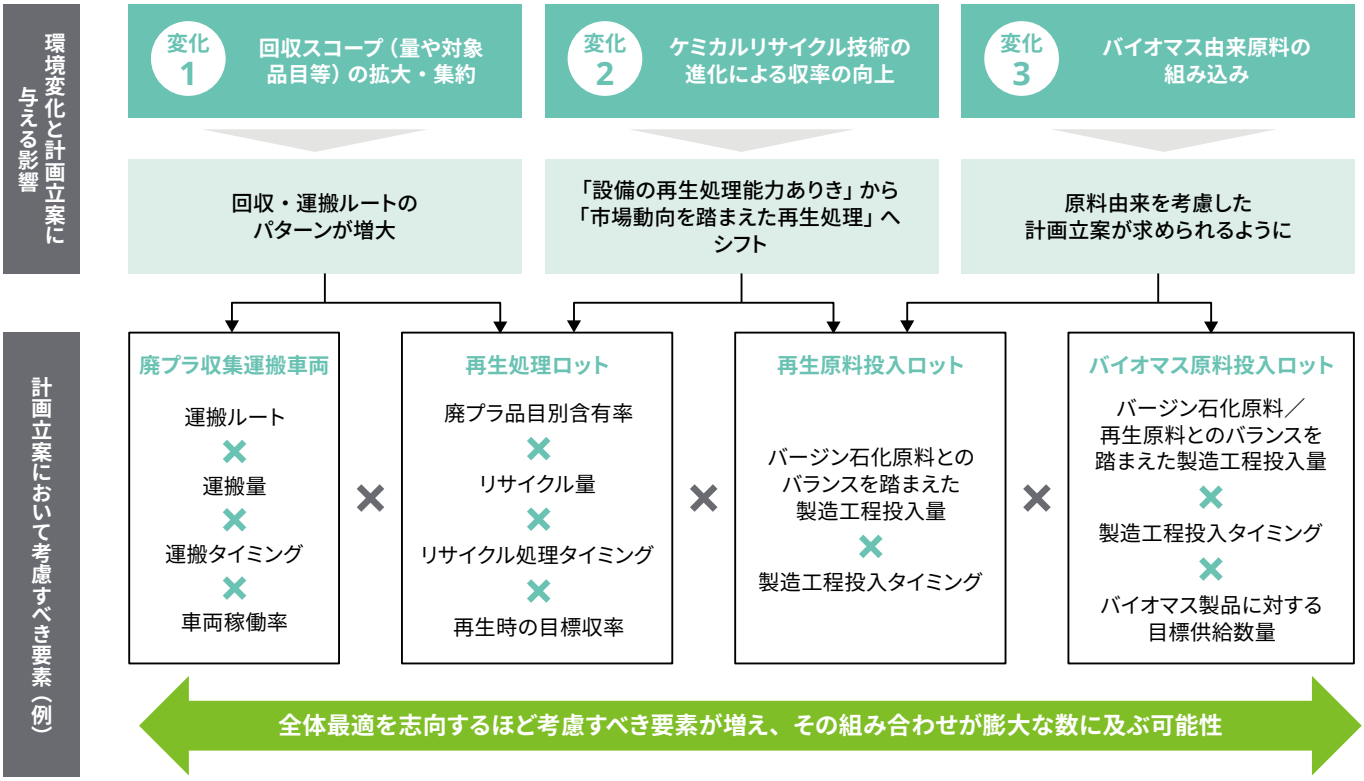
もちろん現実的には、回収計画は回収業務の範囲内で完結し、その後の再生処理は、回収計画立案上は考慮しない、との割り切りも可能であろう。

いずれにしても、最適化の対象スコープが、量子アニーリング適用の見極めにおいて重要なポイントと考えられそうだ。

なお、環境変化への対応を考える場合、「日々の廃プラリサイクル運営計画の立案」以外に留意したいのが、「設備投資等に関するシミュレーション用途」での量子アニーリング活用である。

例えば、石油化学コンビナート内のケミカルリサイクル設備以外に、地域のクリーンセンターに小規模のケミカルリサイクル設備を設置すべきか、といった検討においても、新規設備の能力や想定される新規回収・運搬ルート等をイジングモデルへ反映すればよく、既存の稼働中設備や回収・運搬ルートの扱いと本質的には変わらないと考えられる。

図7. 環境変化に伴う計画立案の複雑化（イメージ）



5. 量子アニーリング適用に向けた重要検討事項

昨今、量子技術の進展に伴い、国内外問わず、関連情報が大量に発信されている。しかしながら、量子関連技術が難解であること、また、量子アニーリングは最終的にはオーダメードの課題解決手法となることから、ビジネスパーソンの多くが、当該技術を支える理論やメリットを十分に理解できていないのが現状であろう。一部には、ここ10年ほどで社会実装が加速したAI（人工知能）技術等との混同もあるようだ。

以下では、他の手法との違いや棲み分け等（図8）に触れながら、改めて量子アニーリングならではの特徴や適用上の留意点をまとめてみたい。

最適化・解析手法における量子アニーリングの位置づけ

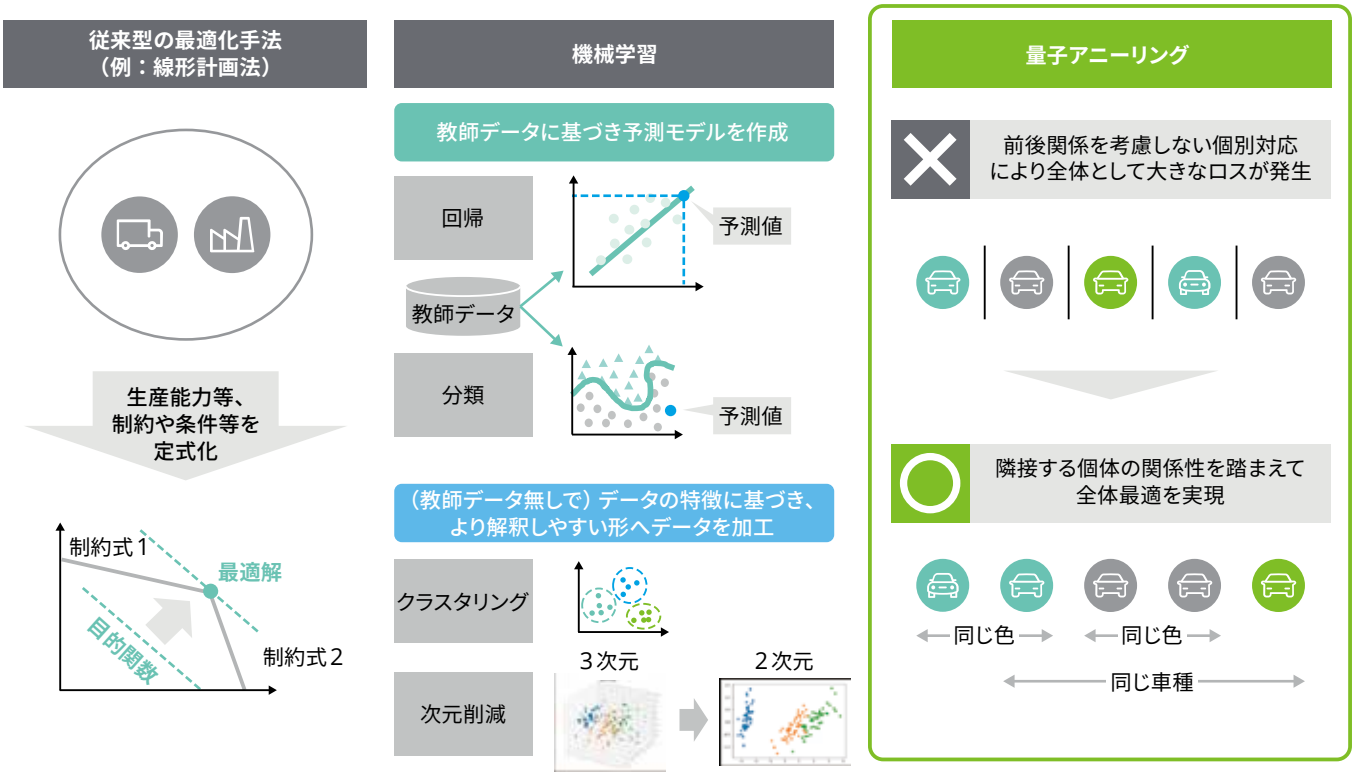
まず機械学習との比較であるが、機械学習の場合、「予測モデル構築及びこれに基づく予測」が、代表的な活用方法である。一方で量子アニーリングは、「予測」を得意とする手法ではなく、膨大な数の選択肢の中から最適解を探す手法であり、両者の守備範囲は根本的に異なると考えてよいだろう（但し、機械学習への量子アニーリングの応用については、研究や実証が進められている[12]）。

また、従来型の線形計画法と比べた場合はどうだろうか。工場の生産能力と製品ミックスに一定の制限がある中、どの製品をどれくらい作れば収益を最大化できるか、といった問題が、線形計画法が適用される典型例であり、ここでは、目的変数・説明変数共に、連続変数を扱うことができる。

これに対して、前述のD-Wave[13]によれば、「量子アニーリングを始めるための最良の問題」が満たすべき要件の1つとして、「変数は離散的である」という点が挙げられている。この点については、連続変数を扱う問題に対して、量子アニーリングの適合性は低いと解釈できるが、上記で述べてきた「0・1形式の表現」や、車両の塗装順最適化の事例等を踏まえれば、ある程度納得がいくだろう。

このように、代表的な最適化手法である線形計画法と比べても明確な違いがあることを、量子アニーリング適用の検討にあたっては留意したい。

図8. 様々な手法による最適化や解析のイメージ



量子アニーリング適用に向けて十分に検討すべき事項

（1）組み合わせ（解の候補）を作るために、様々なデータや仕組みが必要

複数の組み合わせパターンを作り出すための基本情報を、何らかの形で、従来型システムやコンピュータを使って整備する必要がある。例えば、コスト算出に必要な車両走行距離や１日当たりリサイクル処理能力等、様々なリアルビジネスの情報が、課題の定式化にあたって必要となる。

既に該当データを保有している、あるいは、ある程度の加工により生成できる、というケースも少なくないと思われるが、廃プラリサイクルであれば、例えばケミカルリサイクルを行う化学メーカーと回収業者との情報連携等、これまでに無かった要件も発生するため、量子アニーリングマシン外あるいは自社外のデータや仕組みについても十分留意すべきであろう。

（2）ビジネス課題をハミルトニアンへ落とし込むことが容易とは限らない

図６で示したハミルトニアン（運搬コスト関数）は非常にシンプルなもので、制約条件を特に付与していなかったが、現実世界は、はるかに複雑である。図６の簡易ケースにおいても、例えば「車両１台が、１回の回収において、複数の拠点を回ってはいけない（１回の回収で、１拠点のみ対応）」という当然の制約を、情報処理上、組み込む必要がある。

量子アニーリングマシン内での解の探索にあたって、どこまで制約を反映するかは、返ってきた解に基づく意思決定に直結するところであり、慎重な設計が求められよう。

（3）量子アニーリングマシンの探索結果は、厳密解とは限らない

量子アニーリングは、組み合わせ最適化問題を解くための“汎用近似解法”として開発された経緯がある[14]。詳細については筆者の力量を超えるので、他の情報を参照頂きたいが、常に厳密解を求めたいケースでは、量子アニーリングのメリットを十分に享受できないことが懸念される。

6. おわりに

軽量かつ機能性に優れるプラスチックは、産業発展から日常生活における利便性・快適さの提供まで、多大な貢献を果たしてきた。自動車部品の軽量化による燃費向上・環境負荷低減や、ワンウェイ用途の便利な容器等、プラスチックでなければ実現が難しかった価値が多く存在する。

その一方で、環境負荷の観点では、社会全体としての配慮が不足していたことは否めず、蓄積してしまった弊害（温室効果ガスや環境汚染）の低減・回復が、事業を行う上での必須条件となってきた。

このような事業モデルの大変革が迫られている時代において、量子アニーリングが、どのようなポテンシャルを発揮し得るのかを、「廃プラリサイクル」という具体的なユースケースを題材に考察してきた。

所感としては、量子アニーリングの大きな可能性を感じた一方で、量子アニーリングを機能させるための様々な準備が必要であることを改めて認識した。特にサーキュラーエコノミーへの適用にあたっては、心臓部の量子アニーリング処理を含む、仕組み全体をデザインし、実装するための高度な知見やパワーが必要と考える。

組み合わせ最適化問題は、古くからあるビジネス課題類型の１つであり、線形計画法を筆頭にソリューションも磨き抜かれてきた。よって、基本に立ち返って「何を解決したいのか（ゴール）」を徹底的に具体化することが先決であり、このステップを経て、なお量子アニーリングのポテンシャルを感じられるようであれば、その後の検討もスムーズに進むであろう。

最後に、今回取り上げた量子アニーリングを実行するマシン（超伝導量子アニーリングマシン）は、半導体ベースのノイマン型コンピュータに比べて「低消費電力」がメリットとされている点に言及したい[15]。気候変動対応のための意思決定（計画立案）において、低消費電力コンピュータを利用することは、事業コスト低減はもちろん、ESGの観点でも意義があると思われる。

量子アニーリングを俯瞰した本稿が、サーキュラーエコノミーの実現や次世代量子技術の活用に関する検討の一助となれば幸いである。

Endnote

1. 環境省_令和３年版　環境・循環型社会・生物多様性白書　状況第１部第２章第２節　循環経済への移行（env.go.jp）
2. Our timeline（ellenmacarthurfoundation.org）
3. World's Leading Circular Economy Network（ellenmacarthurfoundation.org）、ブリヂストン 2018ニュースリリース「エレン・マッカーサー財団「サーキュラー・エコノミー100」に参加」、三菱ケミカルホールディングス（現三菱ケミカルグループ）2019ニュースリリース「英エレン・マッカーサー財団「サーキュラー・エコノミー100」への参加について ―日本の化学企業として初参加―」
4. 成長志向型の資源自律経済デザイン研究会と資源自律経済戦略企画室を立ち上げました（METI／経済産業省）
5. 経済産業省 成長志向型の資源自律経済デザイン研究会 開催要領
6. 一般社団法人プラスチック循環利用協会「プラスチックリサイクルの基礎知識2022」
7. 脚注：中身商品の消費や、中身商品との分離により不要になるもの
8. 「量子アニーリング」理論を応用したコンピュータが登場 ― 西森秀稔 | 研究ストーリー | 研究 | 東京工業大学（titech.ac.jp）
9. 量子アニーリング（q-annealing.org）
10. 西森秀俊、大関真之：量子アニーリングの基礎（2018）共立出版
11. 西森秀俊、大関真之：量子アニーリングの基礎（2018）共立出版
12. 西森秀俊、大関真之：量子アニーリングの基礎（2018）共立出版
13. D-Wave Technical Report 14-1046A-A Choosing good problems for quantum annealing（日本語版）
14. 量子アニーリング（q-annealing.org）
15. 精密工学会誌 Vol.85, No.12, 2019 汎用量子コンピュータとイジングマシン：ハードウェアの研究開発動向（齊藤志郎、川畑史郎）

執筆者



扇 孝一郎　Koichiro Ogi
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
シニアマネジャー

外資系大手IT企業等を経て現職。製造業を中心に、M&A戦略策定・PMI推進、DX構想策定・導入等、幅広い案件に従事。昨今は、国内石油化学コンビナートのカーボンニュートラル推進オファリングもリード。Deloitte量子オファリングメンバー。



橋本 涼太　Ryota Hashimoto
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
シニアコンサルタント

素材メーカーにて、高分子フィルム開発等の研究職を経て現職。素材業界を中心に事業管理改革支援や全社基幹システム導入支援等に従事。Deloitte量子オファリングメンバー。

発行人



森田 哲平　Teppei Morita
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
執行役員／パートナー

米系総合ファームを経て、現職。主に化学・素材、消費財等の日本企業のグローバル競争力強化に向けて、全社／事業戦略、M&A戦略・PMI、組織機構改革、新規事業戦略、技術マーケティング、デジタル変革、各種コスト削減など幅広い領域における支援を実施。



屋代 敏之　Toshiyuki Yashiro
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
執行役員／パートナー

素材／化学系企業を中心として、事業戦略／新規事業／オペレーション改革の構想策定～実行までの支援経験を多く持つ。専門領域は、AI、ビッグデータ解析、HPC、それらをベースにスマートシティ（都市開発、エネルギー制御、環境保護、社会インフラ老朽化対策等）の幅広い領域における知見を有する。

バックナンバー

バックナンバー送付をご希望の方はご連絡ください。

Vol.1　グローバル化新時代に突入した化学業界
今求められる次世代経営プラットフォームの確立

Vol.2　高機能化学品における新規事業創出の要諦
イノベーション実現へのチャレンジ

Vol.3　新興国市場での成長機軸構築のポイント
自社最適の“グローカル”オペレーションをいかに確立するのか

Vol.4　更なる投資余力創出に向けた在庫マネジメント
在庫マネジメント力の再構築に向けたSCM改革

Vol.5　グローバル成長戦略を加速するM&A
化学企業をグローバル化へと導く、成功の鍵

Vol.6　数字こそがグローバル経営の共通言語
共通言語構築を担う新たな経営管理の姿

Vol.7　ローカル人材活用に向けた基盤作りのポイント
アジアで「勝つチーム」を作るためのファーストステップ

Vol.8　高収益体質を作り出す戦略的価格マネジメント

Vol.9　グローバル競争に打ち勝つための財務マネジメント力の強化
グループ内の資金を最大限活用できる体制を整える

Vol.10 2013年版 化学企業のグローバルM&A動向

Vol.11 化学企業における“強い物流”への変革
3PL能力の最大活用

Vol.12 シェール革命の製造業へのインパクトを読む
北米回帰のシナリオ点検

Vol.13 海外子会社ガバナンス進化論
グローバル展開を加速させるための3つのポイント

Vol.14 グローバル本社への脱皮に向けた本社間接機能の抜本改革
外部力の内部化の推進

Vol.15 化学企業における購買調達機能の改革
聖域なき改革の実現に向けて

Vol.16 Industrie4.0の衝撃
「製造業の大転換」にそなえ、今、化学企業がとるべき戦略を読み解く

Vol.17 ROE経営を再び考える
ROEから見る日本化学企業の戦略方向性

Vol.18 経営アジェンダとしてのグローバルタックスマネジメント

Vol.19 期待収益の最大刈り取りに向けたクロスボーダーPMI

Vol.20 TPP・AECなどのメガFTAに素材産業はどのように向き合うべきか
※金属業界向けニュースレター「Next Stage」Vol.9との合併号

Vol.21 インダストリー4.0と化学業界
デジタル化によるオペレーション改善と事業成長の実現

Vol.22 化学企業と信用格付
資金調達手段が多様化する時代に向けた考察

Vol.23 外国子会社合算税制の改正による日系化学企業への影響

Vol.24 Global Sales Transformation
真のグローバル営業組織への変革

Vol.25 素材産業における次世代オペレーションプラットフォームの構築
～RPAは変革のカギになりえるか～
※金属業界向けニュースレター「Next Stage」Vol.15との合併号

Vol.26 素材産業における次世代オペレーションプラットフォームの構築
～RPA最新状況と更なる拡大に向けた考察～
※金属業界向けニュースレター「Next Stage」Vol.20との合併号

特別版 グローバル素材メーカーのベンチャー活用を紐解く Vol.1～4
～オープンイノベーションプラットフォーム構築の最前線～

特別版 決戦、素材メーカーにとってのモビリティ革命
～100年に1度の大波に乗るか、呑まれるか～

Vol.27 量子コンピュータによるビジネスモデル変革
～素材業界の未来を描く～
※金属業界向けニュースレター「Next Stage」Vol.23との合併号

Vol.28 素材・化学メーカーの経営管理変革の方向性

Vol.29 中堅化学企業の成長戦略と事業再編の行方

Vol.30 化学企業のポートフォリオ転換
～価値創造と持続可能な長期的成長～

Vol.31 宇宙は素材メーカーにとってのフロンティアとなりえるのか

Vol.32 Chemicals 5.0 on the rise
～欧州にみる化学事業の戦略未来図～

Vol.33 炭素削減と成長への着火：化学業界における排出量削減
化学業界の炭素排出量削減には、包括的かつ持続可能な
ソリューション開発を実現するためにも、化学バリューチェーンの
各パートナーとの連携が不可欠である

Webページ

弊社プロセスセクター関連のwebページへは下記よりアクセスが可能です。

弊社プロセスセクターの紹介ページ
https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/energy-and-resources/topics/oil-gas-chemicals.html

弊社プロセスセクターの刊行物の紹介・DLページ
https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/manufacturing/articles/pr/newsletter-tobira.html

デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
プロセスセクター
〒100-8361 東京都千代田区丸の内3-2-3 丸の内二重橋ビルディング
Tel 03-5220-8600　Fax 03-5220-8601
www.deloitte.com/jp/dtc

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ コーポレート ソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約1万7千名の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。
デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約415,000名のプロフェッショナルの活動の詳細については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト・ネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2023. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.