

■特 集 ■ 廃棄物処理におけるカーボンニュートラルの実現に向けた取り組みと課題

廃棄物処理・リサイクルにおける カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みと課題

藤 井 実*
Minoru FUJII

1. はじめに

カーボンニュートラル社会への移行が急務となっている。素材の利用に関しては、製品の長期使用を含むリデュースや、製品のシェアリングを含むリユースの取り組みを進めて、素材の生産・消費量を削減すると共に、やむを得ず廃棄される素材の有効利用を進めることが重要である。金属類であれば、廃棄後に再び金属としてリサイクルすることが大前提となるが、不純物等の混入で品質の劣るカスケードリサイクルになっている場合も多く、これを水平リサイクルに近付けることが重要な課題となる。一方、木材、プラスチック、ゴム、紙などの有機系素材の廃棄物については、材料リサイクルに加えて、ケミカルリサイクル及びエネルギー回収の選択肢が存在する。カーボンニュートラル社会における材料リサイクルは、水平リサイクルに近い高品質なリサイクルリサイクルが一層求められることになる。カスケードリサイクルは、自ずとリサイクルできない廃棄物が発生することを意味するからである。ケミカルリサイクルについては、プラスチックを製鉄所における還元剤として利用するものや、コークス炉に投入して熱分解させる方法、あるいはガス化して水素を製造し、アンモニアの原料として利用する方法が、例えば2010年以降では年間30~40万t程度実施されてきた¹⁾。しかしこれらのケミカルリサイクルは、コークス炉における分解生成物の一部が化学原料として利用されている他は、プラスチック中の炭素がCO₂に変化するものである。カーボンニュートラル社会においては、炭素がリサイクルされて再びプラスチック等の化学品が生産される形のケミカルリサイクルの導

入が鍵になる。そのようなケミカルリサイクルについては様々な技術開発が行われており、炭素・エネルギー効率や経済性にも優れたプロセスの導入拡大が期待される。

素材別に、異物等の混入の少ない状態で回収される一部の高品質な廃プラスチックは、材料リサイクルやケミカルリサイクルにより、質の高いリサイクルが行われることが期待されるが、有機系素材の廃棄物には混合状態で排出されるものが多い。この状態を改善することも重要であるが、例えば容器包装であれば食品自体の製造や流通に伴う環境負荷が非常に大きいため、食品ロスを減らして環境負荷を削減し、衛生的に食品を提供する上でも、容器包装の果たす役割は大きい²⁾。しかし、食品の容器包装は必然的に食品と密着して利用されるため、汚染された状態で排出されやすい。また、容器包装に様々なバリア性能を持たせるために、異なる種類の樹脂が積層されたものや、アルミ蒸着を行っているものも多いが、これらは同等の食品保護性能に対して、樹脂使用量の削減に寄与している面もある。また、プラスチックに代わって紙が利用される容器包装も増えており、バリア性能を両立するために、紙とプラスチックを組み合わせて使用される場面も増えている。素材の用途（例えば環境中に散逸される可能性が高いもの）によっては、生分解性を持つことがある場合もあるが、生分解性を持たない従来の素材に混じって生分解性素材の利用が拡大すれば、廃棄物の回収時に異なる素材が混合されやすくなる。材料リサイクルを容易にするために、異なる素材の複合的な利用を抑制すべきとの考え方もあるが、そのため容器包装の機能が大きく損なわれたり、同等の機能を維持するためにより多くのプラスチックを使用したりすることになっては、本末転倒の感もある。重要なのは

* (国研) 国立環境研究所

はリサイクル率を向上させることよりもむしろ、素材の生産・利用・廃棄を如何にカーボンニュートラルに近付けることができるかであり、ライフサイクル全体を俯瞰したシステム構築が求められる。

プラスチックの原料や、製造のためのエネルギー源としてのバイオマスの利用も、重要な対策と捉えられている。国産バイオマスとしては森林バイオマスの存在が大きいが、木材の利用の拡大が一時的なCO₂排出の増加に繋がることが懸念として示されている³⁾。以前から伐採と植林・育林が繰り返され、定常的に利用されている森林であれば、そこで生産される木材は燃やしてもカーボンニュートラルと捉えて差支えないが、原料、燃料としてのバイオマスの利用を急拡大するため、長期間利用されていない森林のバイオマスを利用する、あるいは森林を伐採して土地転用を行う場合には注意が必要である。特に2050年といった比較的近い将来において、実際にCO₂排出の削減に繋がるかどうかを、森林の炭素ストックの変化も含めて詳細に検討する必要がある。木を燃焼させると、樹種や乾燥状態にも依存するが、発熱量当たりでは石炭の1.5倍～2倍のCO₂が排出される。プラスチックを合成すればそこに炭素が固定されることになるが、これは石油からプラスチックを製造する場合でも同様に得られていた固定効果であり、追加的に固定量が増えていている訳ではない。そして、排出されたCO₂が大気から再び吸収されるのは、伐採後に植林された木が元の大きさに成長した時点である。詳細な説明はこの紙面では行わないが、森林バイオマスの新規利用を拡大する際に一時的なCO₂排出の増加を防止する上で重要なのは、炭素が長期間固定される新たな用途（例えば高層建築の木造化）を開拓し、使用後に廃棄された段階で原料・燃料として利用することである。しかしこれでは森林バイオマスを化学原料として利用できるまでに時間が掛かるので、例えば現在発電に利用している森林バイオマスを化学原料利用に振り向け、電力は再生可能な電源で補完するような形で当面の期間は対応することになると考えられる。長期的に見れば森林バイオマスの利用は、CO₂排出の削減にも、森林の健全な保全にも貢献し得る対策であるので、適切な方法で利用を拡大することが望まれる。

このように、有機系素材のリサイクルには一定の制約や課題があり、プラスチックのバイオマス原料化や

バイオマス素材への転換も、やみくもに進めると却ってCO₂排出を一定期間助長する可能性もある。リサイクルできない有機系素材は焼却する必要があり、総ての素材のバイオマスへの転換が難しいとすれば、焼却施設においてカーボンリサイクルを行うことも不可避となる。本稿では特にリサイクル困難な有機系素材の焼却によるエネルギー回収と、その後段で行うCO₂の回収・化学原料利用について、その実現方策や得られる効果、便益等を考察する。

2. カーボンニュートラル社会におけるエネルギー・システム

廃棄物からのエネルギー回収を考える上で、今後のエネルギー・システムがどのようなものになるのかは重要な条件となる。廃棄物の焼却施設では、発電もしくは熱供給が主な選択肢となるため、これらの将来像について考察する。図1に示すように、現在は依然として化石燃料が電力及び熱供給のためのエネルギー源の中心になっている。火力発電所では熱力学的な制約により、化石燃料の持つエネルギーの一部を熱として排出しない限り、電力を生産することができない。発電効率は高温化するほど高くなり、1,500～1,600℃の燃焼ガスでタービンを回すガス火力発電所（実際に

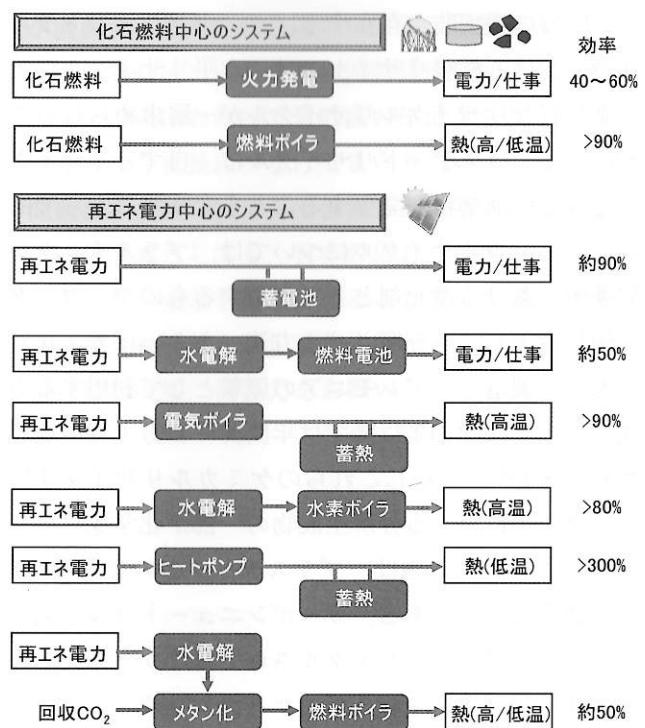


図1 現在及びカーボンニュートラル社会における電力・熱供給の仕組み

は蒸気タービンとの複合サイクル) の発電効率は60%, 600°C 程度の蒸気でタービンを回す石炭火力発電所の発電効率が40%程度である。熱については、ここでは化学、製紙産業等の製造プロセスで大量に利用されている、200~300°C 程度の蒸気(高温熱)と、民生系の暖房や給湯に利用される、30~60°C 程度の熱(低温熱)供給について述べる。ボイラの熱効率は、近年は高温熱の供給を行うものでも90%を超えており、低温熱であれば潜熱も含めて熱回収することで、低位発熱量に対しても100%を超える熱効率を達成するものもある。また、発電時に不可欠な熱としての排出を、製造プロセスで活用するコジェネレーションが用いられる場合もあり、電気と熱が同時に必要な素材産業で多く採用されている。

カーボンニュートラル社会においては、再生可能電源から得られる電力が、我々が最初に手にするエネルギーとなる。前述のように、バイオマスの利用を急拡大すると、2050年時点でのCO₂排出量を却て増加させる可能性もあり、持続的に可能な生産速度の観点からも、バイオマスをエネルギー源の主力とすることは難しいと思われる。比較的どこにでも導入が容易な太陽光発電の場合、出力が日周期や年周期で変化し、また気象条件の影響を受けて変化する。従って、電力を安定して利用するには、エネルギーを蓄えておく仕組みが必須となる。最終的な用途がモーターや照明といった機器の場合、蓄えたエネルギーを再び電力に戻して利用することになる。その際のエネルギーロスを最小化する観点では、蓄電池の利用が最適であり、その充放電効率は90%前後となる。一方、電力をいったん水素に変換した場合、特に水素から電力に再変換する際のロスが大きいため、その効率は50%程度まで低下する。蓄電池が高額であることや、重量当たり、あるいは体積当たりのエネルギー密度の低さが課題となるために、水素を選択することもあり得るが、電力を無駄なく利用する観点からは、可能な限り蓄電池を採用することが望ましい。

一方、熱供給については、幾つかの選択肢を採り得る。エクセルギー率(エネルギーのうち、仕事として取り出すことのできる割合を示す指標で、エネルギーの質の高さを表す尺度である)が100%の電力を、ある程度高温であったとしても、エクセルギー率の低い熱(外気温20°Cのとき、200°Cの熱のエクセルギー率

は約22%)に直接変換することは非常に無駄が大きいが、カーボンニュートラル社会においては、電気を熱に変えて利用することが主流化すると考えられる。高温熱は、再生可能な電力(再エネ電力)を電気ボイラで蒸気に変換し、耐圧性能のある断熱容器に蒸気を高温の水として蓄えておくことで、再エネ電力が供給されない時間帯にも蒸気供給を行うことができる。この効率は90%程度となる。また、再エネ電力を水素に変換し、水素ボイラで高温熱を供給することも可能である。水素から高温熱への熱効率が高いため、この効率は直接電気を熱に変換する場合と比較して、それほど大きな遜色は無い。高温熱の供給においては水素もある程度効率的な選択肢となり得る。素材産業であれば、水素を用いてコジェネレーションを行っても良い。暖房や給湯のための低温熱については、ヒートポンプを利用した熱供給が極めて効率的である。ヒートポンプは電気を利用して、暖房であれば投入電力の6~7倍、給湯であれば3~4倍の熱を供給することができる⁴⁾。低温熱は温水等として貯蔵することも容易である。太陽光発電の電力が利用できる日中は、外気温が高くヒートポンプの効率が高いことも利点となる。一方現在の仕組みでは、暖房や給湯は都市ガス等を利用してガスボイラで行われている場合も多い。カーボンニュートラル社会においてガスボイラを継続して利用する場合、CO₂と水素でメタネーションを行い、このメタンを燃料として利用することが考えられる。しかし、電力から水素への変換やメタン化反応に伴うエネルギーロス、CO₂の回収に必要なエネルギー等を考慮すると、電力から最終的に熱として供給されるまでの効率は、50%程度になると考えられる。ヒートポンプを利用する仕組みと比較すると、電力から供給できる熱量に6倍以上の差が生じる可能性がある。メタンを利用する仕組みは、既存のガスインフラを利用できるメリットがあるが、エネルギー効率の観点からはヒートポンプの利用が望ましい。

3. 廃棄物の焼却エネルギーの効率的な利用

カーボンニュートラル社会においては、前述のようなエネルギー・システムとなっていることを踏まえて、低品位な廃棄物の焼却熱をどのように利用るべきかを選択する必要がある。廃棄物を焼却する場合、廃棄物に含まれる塩素等がボイラ配管を腐食する原因とな

る。配管温度が高温になるほど腐食が進みやすくなるため、廃棄物焼却施設では蒸気温度を抑制した運転が行われている。塩素分の高い廃棄物を受け入れる可能性がある産業廃棄物では、蒸気温度は300℃程度が上限の場合が多く、相対的に塩素分の少ない一般廃棄物では、450℃程度の蒸気温度が国内事例の上限になっている。前述の火力発電所における600℃や1600℃といった温度に比べると温度が低く、更に相対的に施設規模が小さく、大量の海水で蒸気を急速に冷却することも難しいため、発電効率はどうしても低くなってしまう。最新の一般廃棄物の焼却施設でも、発電効率は20数%に留まる施設が多く、海外の焼却施設を含めても30%程度がこれまでの上限のようである。それでもこれまでに、廃棄物焼却発電が低品位廃棄物の持つエネルギーを有効利用し、CO₂排出の削減に寄与してきた役割は大きい。電気は電線さえあれば（と言うほど簡単ではないが）遠方にも輸送できるため、立地制約が少ないという利点も大きい。しかし、今後は再エネ電力の割合が増大し主力化するにつれて、廃棄物焼却発電の意義は低下していくことになる。一方、300～450℃の蒸気であっても、化学や製紙の素材工場では、利用できるプロセスが多く存在する。焼却施設のボイラの熱効率自体は、素材工場のボイラの効率と大きな遜色はない。焼却施設から素材工場に蒸気を供給するのであれば、廃棄物の持つエネルギーを、化石燃料に近い効率で有効利用できることになる（図2）。留意点としては、現在は素材産業の蒸気供給は電力と熱の効率的な供給が可能なコジェネレーションになっている工場が多く、そのような工場で焼却施設からプロセス用蒸気を供給した場合、効率が低下することが挙げられる。電力と熱の使用量の比や、工場で不足する

ことになる電力を補う、系統の火力発電の効率にも依存するが、20%ほど効率が低下する計算となる。それでも、廃棄物焼却発電とガス火力発電との効率差が2倍以上あることと比較すると、十分に効率的に廃棄物の持つエネルギーを利用できることになる。今後、電力供給の主力が再生可能エネルギーになるにつれ、素材工場で発電をする必要性は低下する。前述のように、最終的には熱も再エネ電力を用いて供給することになると考えられるが、エクセルギー損失の大きな非効率な方法でもあるため、廃棄物の焼却に伴って必ず発生する熱を、素材工場の熱供給に優先的に利用することは、将来のカーボンニュートラル社会においても、エネルギーの効率的な利用方法となる。

4. ライフサイクルカーボンニュートラル

廃棄物の焼却熱が、化学や製紙などの素材産業で有効利用できることを述べたが、蒸気を供給できる距離は、電気に比べるとかなり短い（技術的に可能な距離と、経済的にも合理的な距離は異なるが、数km以内である方が望ましい）ため、焼却施設と素材工場との立地の近接性が重要になる。石油・化学工場に加えて、地域によっては製紙工場、セメント工場、製鉄所などが複合的に立地するコンビナートのような場所では、大量の蒸気が消費されているため、その内部又は近隣に焼却施設を立地させることが出来れば有効である。化学工場でもナフサ分解炉で必要な熱や、セメント工場で焼成に必要な熱は温度帯が高く、焼却炉から熱を供給することは出来ないが、製鉄所の廃熱等も含めて高温の廃熱を、焼却炉から供給する熱と併せて合理的に利用できるような仕組を構築できると効率的である。プラスチックの完全な水平リサイクルや、化学原料のバイオマスへの早期の完全移行が難しい状況を踏まえると、今後も化石燃料由来の素材の焼却が一定量継続することが想定される。それに伴うCO₂排出については、回収してカーボンをリサイクルする、Carbon Capture and Utilization(CCU)を実施する必要がある。なお、回収したCO₂を地下に貯留する方法もあるが、火力発電所等からのCO₂排出が優先対象になると思われるため、ここでは議論の対象としない。

質の高いリサイクルが可能な、高品位な有機系素材の廃棄物だけでなく、リサイクルが困難で、やむを得ず焼却するプラスチック等も含めて、化石燃料由来の

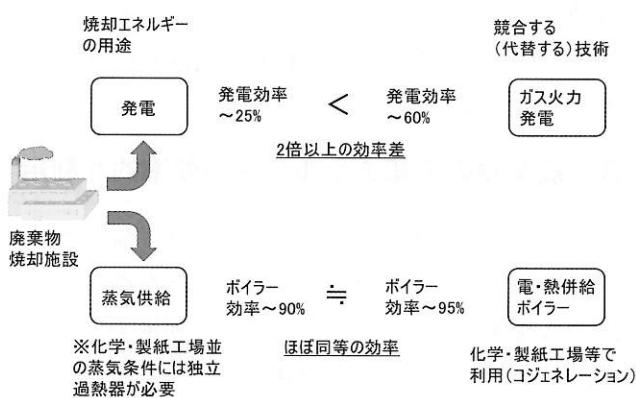


図2 廃棄物焼却施設における発電と蒸気供給との効率の比較

素材の焼却に伴うCO₂が回収・カーボンリサイクルされ、更に有機系素材の生産に必要な電力や熱もカーボンニュートラルな形で供給する仕組みを、ライフサイクルカーボンニュートラル（Life Cycle Carbon Neutral: LCCN）と呼ぶことにする。コンビナートに新たに立地させる焼却施設から、回収したCO₂を水素と反応させて、例えばメタノールやエタノールなどの基礎化学原料を合成することができる⁵⁾。CO₂と水素からの合成反応は、多すぎる酸素を除去する必要があるため、生成物の化学量論比以上に水素を消費することになり、そのため発熱反応となる。発熱の温度は200°C～300°Cといった温度帯になるため、この熱もコンビナートであれば、製造プロセスに有効利用することができる。

図3は、カーボンニュートラルなプラスチックの生産・廃棄を実現するために、プラスチックのケミカルリサイクルを行う場合と、リサイクル困難な低品位廃棄物の混合物を利用したLCCNを行う場合とを比較したものである。各プロセスはかなり簡略化して示している。ケミカルリサイクルを行う場合、プロセスに必要な電力と熱は、水素によるコジェネレーションで供給することが想定される。一方LCCNでは、廃棄物の焼却によってプロセスに必要な電力と熱を供給する。

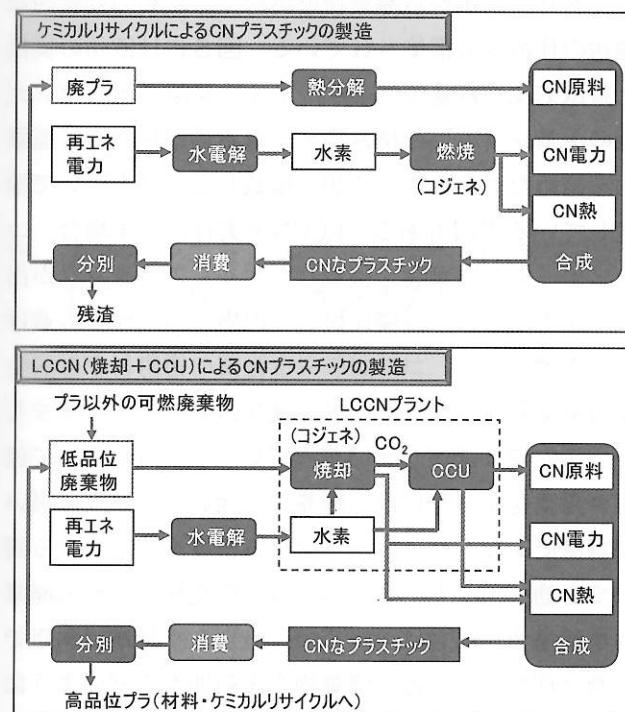


図3 カーボンニュートラルなプラスチックの製造方法の比較
(ケミカルリサイクルとLCCN)

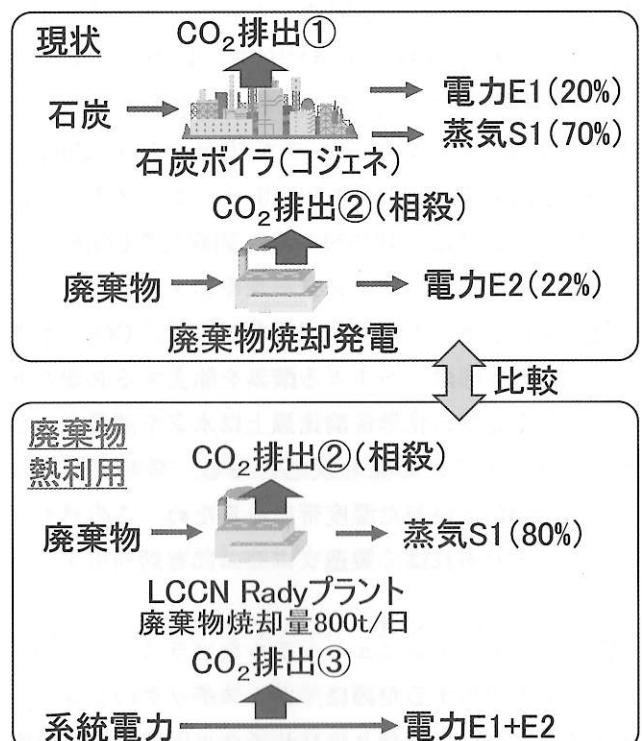
前述のように、通常の焼却施設では蒸気温度が450°C (圧力は6 MPa程度)と低いため、コンビナートのコジェネレーション用のボイラで使用されている、500数十°C、10数MPaといった蒸気を置き換えることは出来ないが、LCCNプラント（廃棄物焼却+CCU+再エネ電力の利用を複合化し、エネルギー利用効率を最適化したプラント）においては、焼却施設側のボイラで圧力のみを高めておき、独立過熱器において水素等のカーボンニュートラルで腐食性の少ない燃料を利用して蒸気温度を更に昇温させることで、コジェネレーションに必要な条件の蒸気を供給することも可能になる。LCCNプラントでは、再エネ電力の発電状況に合わせて、廃棄物と水素の調整力や、CCUプロセスでの廃熱も活用しながら、エネルギー効率を最適に制御しながら運転することになる。ケミカルリサイクルとLCCNの比較に話を戻すと、ヘスの法則によると反応熱は途中の反応経路に依存せず一定である。エネルギー状態として非常に安定なCO₂をいったん経由して化学原料に戻すLCCNプラントは、一見すると効率面で不利であるが、コンビナートのような場所であれば、廃棄物焼却熱もCCUの発熱も効率的に利用することができる。これにより、ケミカルリサイクルと遜色のないエネルギー効率でカーボンリサイクルを行うことも理論的には可能であり、技術開発によってこれを実現することが望ましい。そしてLCCNプラントであれば、プラスチック以外のほとんどの可燃廃棄物も受け入れることができる。実際には、例えば芳香族系の化学製品はケミカルリサイクルで製造する方が容易であるといった具体に、廃棄物と生産物との組み合わせによって有利・不利があるため、ケミカルリサイクルとLCCNのどちらか一方を選択するのではなく、両者を協調的に利用することが求められる。

5. LCCNに期待される効果と関連する実例

LCCNプラントのCO₂排出削減効果は、水素の利用量によって大きく変わり得るため、ここではその前段階となる、廃棄物焼却施設から素材工場への、プロセス用蒸気の供給に伴うCO₂排出削減効果について示す。コンビナート（実際には蒸気を大量に利用できる工場が立地していれば、必ずしも化学工場を含むコンビナートである必要はない）に焼却し施設が立地していさえすれば、水素の供給量の拡大や低価格化が進め

ば、その後のLCCN化も容易であることから、これをLCCN Readyプラントと呼ぶものとする。図4に示すように、石炭を燃料とするコジェネレーション用ボイラが運転されているコンビナートにおいて、一部の蒸気供給を、LCCN Readyプラントからの供給で置き換える場合を想定する。コンビナートでは、プロセス用蒸気の供給を抑制すると発電量も低下することになるため、不足分は系統電力（2030年頃を想定した0.37 kg-CO₂/kWhの電力）を利用する前提とする。産業廃棄物と一般廃棄物を混焼する800 t/日の規模のLCCN Readyプラントの場合、同量の廃棄物を効率22%で焼却発電を行った場合と比較して、エネルギーが効率的に利用されることと、CO₂排出係数が大きな石炭の消費が削減されることにより、年間22万t程度の大きなCO₂排出削減効果が期待される。

次に、国全体の規模でのLCCNの供給ポテンシャルをかなりラフに試算してみる。化学産業のCO₂排出量は6000万t/年程度である⁶⁾。このCO₂排出に対応するエネルギー消費をC重油で換算すると、770PJ/年となる(1PJ = 1000兆J)。一方、現在焼却されている一般廃棄物は3000万t/年程度である⁷⁾。実際には産業廃棄物も一部活用できるため、それも踏まえて廃棄物の発熱量を10MJ/kgと仮定すると、300PJ/年のエネルギー供給が可能である。再エネから製造される水素やアンモニアは、現状では化石燃料よりもはるかに高価であるが、低品位な廃棄物はむしろ処理費を受け取って利用することが可能であり、化学産業にとっては経済的なメリットも大きい。CCUには大量の水素が必要なこともあります、例えば廃棄物と同等のエネルギー量に匹敵する水素を利用すると仮定すれば、その多くは化学エネルギーに変換されるものの、一部は独立過熱に利用し、加えてCCUの発熱も熱供給に活用されることを踏まえると、水素の利用は100PJ/年程度の追加的なエネルギー供給に寄与すると思われる。廃棄物との合計で400PJ/年であり、現在の化学産業のエネルギー需要の半数以上を供給できることになる。今後はコンビナート内のプロセスの省エネルギー化、再エネ電力の直接利用、3Rの進展に伴う化学品生産量の漸減等が進むことを考慮すると、現在の770PJ/年の需要は大きく削減されると考えられる。LCCNによって、化学産業のカーボンニュートラル化に大きく貢献できるポテンシャルを有していることが分かる。



CO₂排出削減効果=CO₂排出①-CO₂排出③
=220,000t-CO₂/年

図4 LCCN Readyプラント(仮想)におけるCO₂排出削減効果

LCCN Readyに類する実例は、国内では比較的小規模なものが幾つか存在しているが、海外では廃棄物処理量が1000 t/日を超える大規模な実例も徐々に増加しており、広域から廃棄物を集約するための効率的な輸送の仕組みも構築されている。図5には欧州の実例と、LCCNが実現した場合のイメージ図を示した。大型のトレーラーへの積み替えによる効率輸送や、廃棄物を詰めたコンテナを船舶に積載して、国を跨いで輸送している事例もある。LCCNを実行に移す場合、コンビナートに廃棄物を積載した数多くのトラックが出入りすることは、近隣住民への配慮の観点からも避けたい事態であり、コンビナート近隣の市町村から発生する廃棄物以外は、海上から運び込めることが望ましい。ここでは詳述しないが、廃棄物を長時間掛けて遠方から輸送する際には、厨芥類を除いた方が取り扱いが容易であり、エネルギーの輸送密度を向上させる観点でも効率的である。特に遠方の農村地域から廃棄物を輸送する場合は、厨芥類は分別して地域で利用できれば理想的である。廃棄物を広範囲からどのように効率的に輸送するかについての詳細は、他の紙面で報告することになると思われるが、予備的計算では

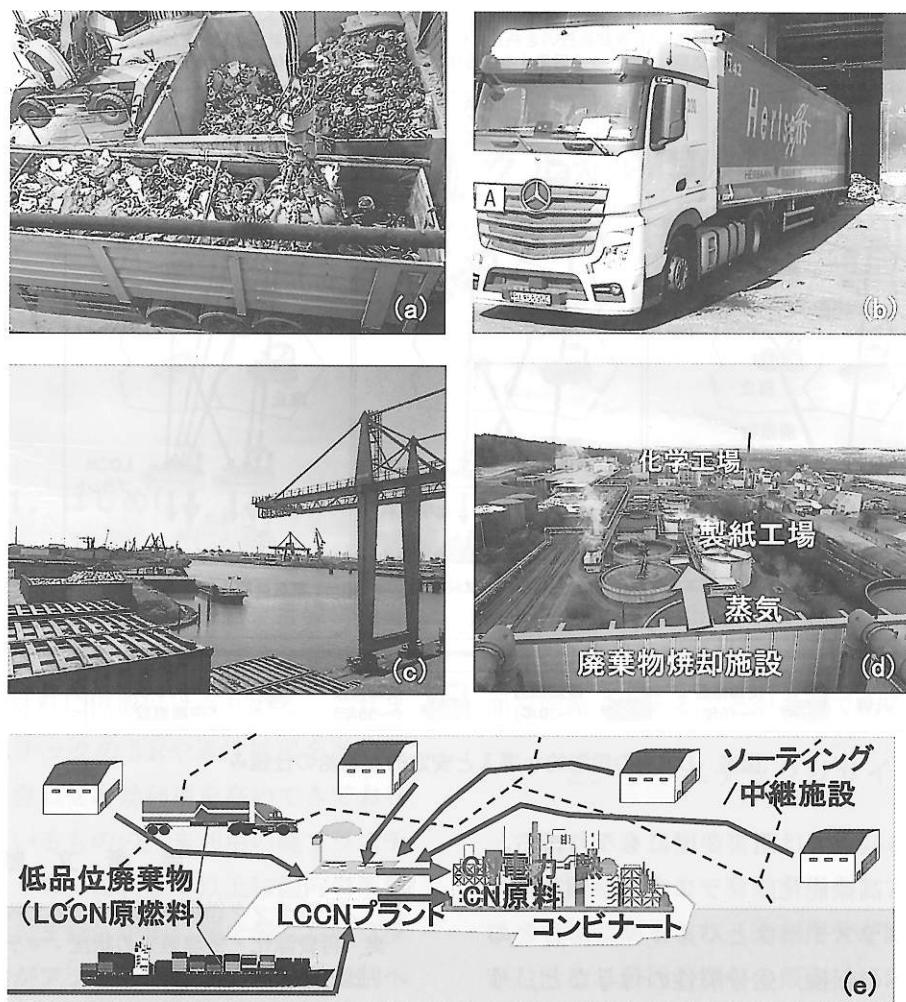


図5 蒸気供給の実例及びそれを支える廃棄物輸送とLCCN実施時のイメージ図

(a)廃棄物中継施設(スイス), (b)大型トレーラーによる廃棄物の輸送(オランダ), (c)廃棄物のコンテナによる海上輸送(岸壁の風景・オランダ), (d)廃棄物焼却施設から製紙工場等への蒸気供給の実例(スイス), (e)LCCNのイメージ図

LCCN Readyプラントへの集約による効率化の便益は、輸送費の増加による費用を大きく上回る結果が示されている。

6. カーボンニュートラル社会への大変革に対してレジリエントなシステム

一般的に大型の廃棄物焼却施設は、複数の炉を持っている。当面のLCCN Readyプラント、あるいは将来のLCCNプラントも、廃棄物をコンビナートに集約する体制の拡大に合わせて炉数を増やし、その規模を大きくすることができる。図6に示すように、当初はコンビナートの周辺で老朽化した廃棄物焼却施設を持つ市町村が、焼却施設をその場で建て替える代わりに、廃棄物の選別・中継施設を建設・運営し、廃棄された有機系素材の特性別に材料リサイクルやケミカルリサイクルに振り分けた上で、残りの可燃廃棄物をコ

ンビナートへと輸送する。可能であれば更にメタン発酵施設等を建設し、厨芥類を地域で活用する(残渣はコンビナートへ輸送して焼却する)。寿命を迎える焼却炉が他の市町村でも広がるにつれ、廃棄物を収集する範囲を拡大し、コンビナート側ではLCCNプラントの規模を拡大する。人口減少やリサイクルの進展により、廃棄物発生量が漸減することが想定されるが、更に廃棄物を収集する範囲を遠方まで拡大することで、当面の廃棄物供給量をある程度一定に保つことができる。2050年以降、再エネの電力が更に普及して低価格化すれば、LCCNプラントのコンビナートにおけるエネルギー源としての役割は低下し、依然として残ると思われるリサイクル困難な廃棄物を効率的にカーボンリサイクルし、化学原料を供給し続けることが引き続き重要な役割になる。リデュースやリユースは、資源消費の削減の観点からは望ましいが、リサイクル産業

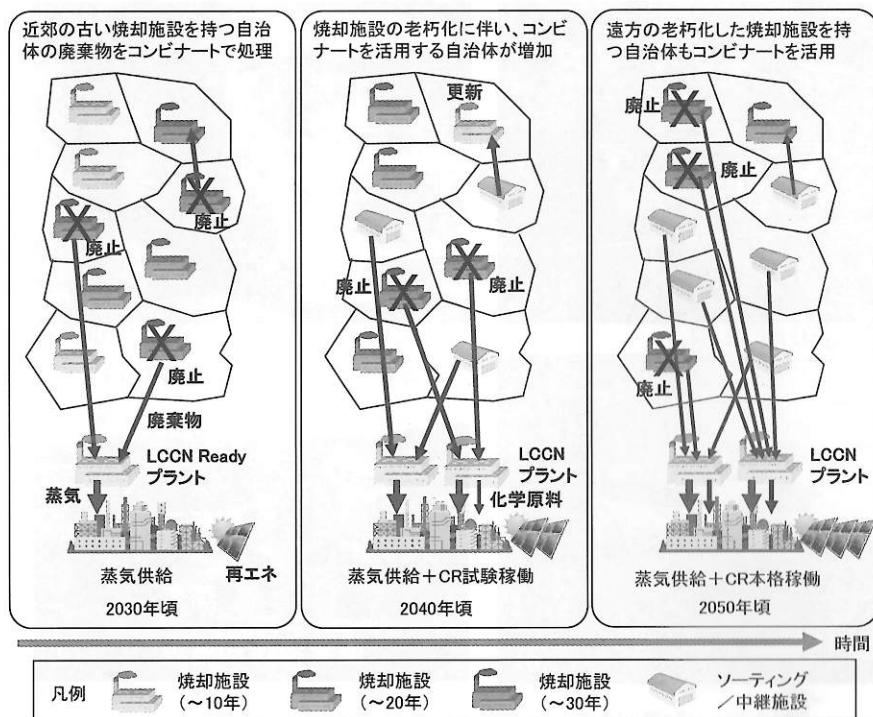


図6 LCCNの段階的な導入と安定的な需給の仕組み

を維持・成長させる観点では阻害要因にもなり得る。有機系素材の更なる高機能化、プラスチックから紙への転換、あるいはプラスチックとバイオマス素材とのコンポジット素材への転換、生分解性の付与など、リサイクル率以外の観点でも環境負荷の削減に寄与する対策が様々に選択し得る中で、広く様々な可燃廃棄物を受け入れ、カーボンリサイクルを行うことのできるLCCNの仕組みは、人口減少とカーボンリサイクル社会への大転換が求められる時代においても、レジリエントなシステムとなることが期待される。

7. おわりに

カーボンニュートラル社会への転換を支え得るLCCNの仕組みについて提案し、今後想定される資源循環やエネルギー・システム等の状況を踏まえてその効率性を考察した。国内においても、LCCN Readyプラントの建設に向けて具体的な検討が始まっているコンビナートが複数存在する。更にLCCNプラントの実現に向けて、様々な関係者に協働を呼び掛けている段階である。早期の実現を目指したい。

謝辞

本稿の記載内容には、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20223C02)により実施された研究の成果を含む。ここに関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) プラスチック循環利用協会、プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 - マテリアルフロー図 (2010 - 2021年のフロー図)
- 2) Wikström F., Williams H., Trischler, J., Rowe Z., The Importance of Packaging Functions for Food Waste of Different Products in Households, Sustainability, 11, 2641, 2019
- 3) Camia A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N.E., Jasinevicius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J.I., Mubareka, S. JRC Science for Policy Report -The use of woody biomass for energy production in the EU, 2021
- 4) 環境展望台、環境技術解説、ヒートポンプ (2023年5月16日参照)
<https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=11>
- 5) 経済産業省、カーボンリサイクル技術ロードマップ(2023年5月16日参照)
<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>
- 6) 経済産業省、化学産業のカーボンニュートラルについて (2023年5月16日参照)
<https://www.city.shunan.lg.jp/uploaded/attachment/79293.pdf>
- 7) 環境省、一般廃棄物処理事業実態調査の結果(令和3年度)について (2023年5月16日参照)
https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r3/data/env_press.pdf