

1. 装置の詳細説明

本システムは、図表 1 に示すとおり、一般廃棄物等から炭化燃料を製造し、施設外の化石燃料使用施設でバイオマス由来の代替燃料として利用することで、脱炭素社会に貢献するシステムである。

本システムでは、実績のある事業用火力発電所を始め、ごみ処理施設やアスファルトプラントでの利活用に加え、近年注目されている炭素固定化・貯留等多くの利用先候補がある。このように地域で発生したごみを炭化燃料化し、地域で利用することや固定化して貯留することで地域循環共生圏の確立を実現することができる。

本システムのごみ炭化燃料化施設で炭化燃料製造する工程について、図表 2 に示すフローに沿って説明する。

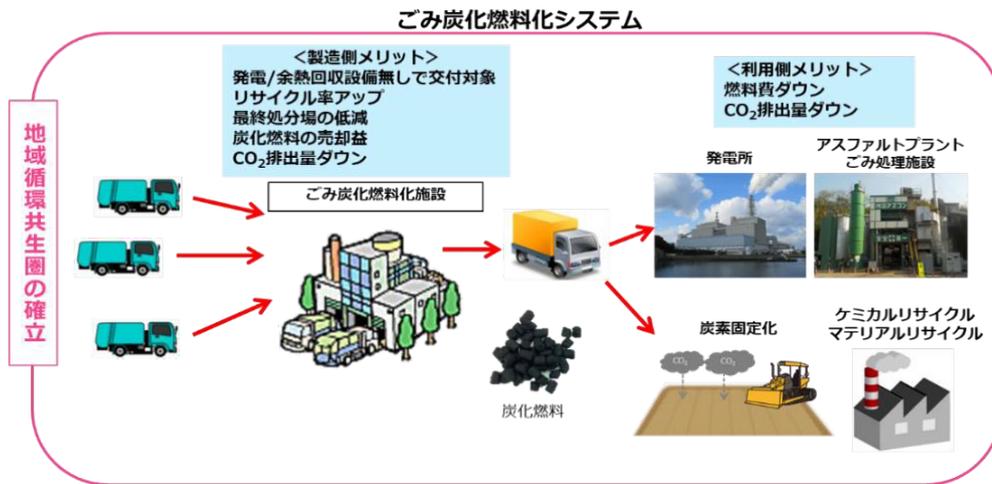
1) ごみ受入設備

プラットホームからごみピットに搬入されたごみを破碎し、破碎ごみピットより給じん機に供給する。ごみと合わせてし尿・下水汚泥も処理しており、その量は供給するごみ量に対して 15%以上の実績で処理可能である。

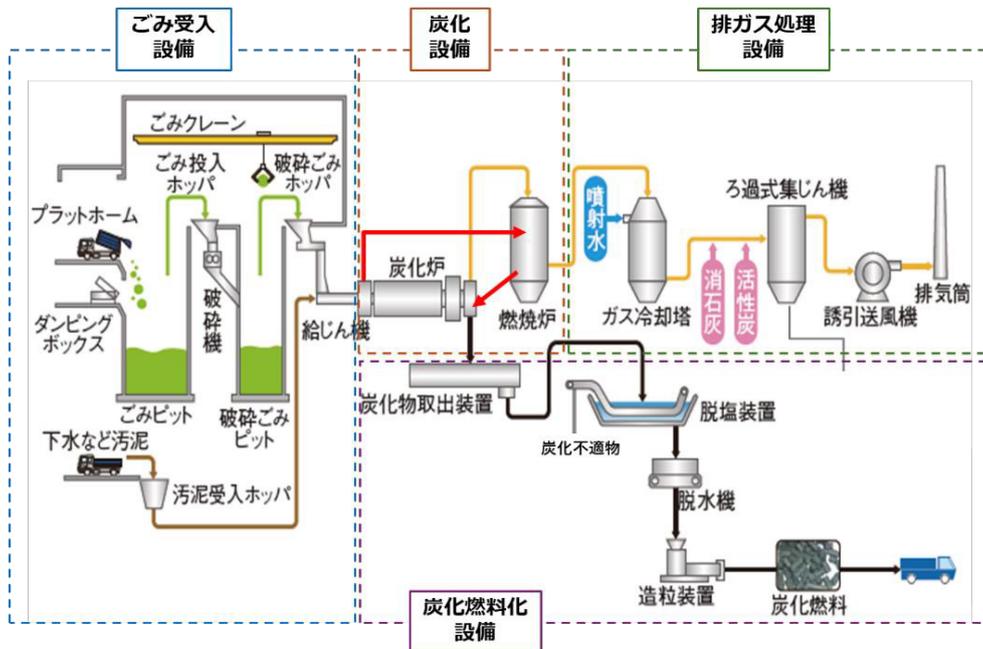
2) 炭化設備

破碎されたごみと汚泥（以下、破碎ごみ）を、図表 3 に示す 450℃に加熱された炭化炉（約 15m の「間接外熱キルン炉」）に供給し、低酸素状態で 1 時間程度加熱する。

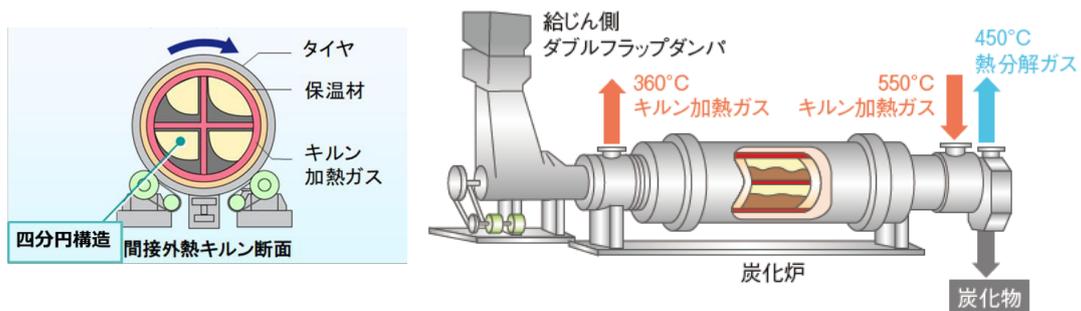
炭化炉内で破碎ごみから炭化水素や一酸化炭素等の熱分解ガスが発生させ、後段の燃焼炉で 850℃以上に燃焼制御しごみ炭化用の熱として炭化炉で利用する。このように、ごみの自己熱を利用して炭化することが特長の 1 つである。炭化炉内部は十文字状に四分円構造とすることで、伝熱面積と、熱交換の効率を上げることを実現し、単筒型と比較しコンパクトなサイズで設置可能である。得られた炭化物は、炭化物取出装置で冷却させ、脱塩装置に供給する。



図表 1 ごみ炭化燃料システム



図表 2 ごみ炭化燃料製造施設フロー図



図表 3 炭化炉（間接外熱キルン炉）

3) 排ガス処理設備

炭化炉で利用した循環ガスは、燃焼炉で 850℃以上に再加熱した後、ガス冷却塔にて急冷することでダイオキシン類の発生を抑制している。

ガス冷却塔で冷却されたガスに消石灰と活性炭を吹込み、図表 4 に示す施設の排ガス基準値を遵守し、排気筒より排気している。なお、排ガス量は、ごみ焼却方式と比較して、約 20%少ないため、周辺環境への影響を低減している。

4) 炭化燃料化設備

脱塩装置に供給された炭化物は、0.2-0.4%程度まで塩素濃度を低減可能な、独自の方法で脱塩するとともに、鉄・アルミ・炭化不適物を取り出す設備を設けており、資源回収と炭化燃料の品質を向上している。これは、破碎ごみの塩素濃度は 1-3%程度であり、さらに炭化処理を行うことで塩素分は炭化物に濃縮するため、炭化物を利用先で使用する場合、塩素による利用先施設の腐食等のリスクや異物混入による損傷が生じるためである。最終的には、脱水と造粒の工程を経て図表 5 に示す搬送性が良い形態で利用先へ搬出する。

炭化燃料の発熱量は 16,000kJ/kg 以上（乾燥条件：無水）であり、燃料として十分な発熱量を有している。参考のために、その他の炭化燃料の性状を含め図表 6 に示す。

図表 4 排ガス基準値 (O₂ 12%換算値) 導入実績例

ばいじん	0.01 g/Nm ³ 以下
硫黄酸化物	100 ppm 以下
窒素酸化物	150 ppm 以下
塩化水素	100 ppm 以下
一酸化炭素	30 ppm 以下 (4 時間平均)
水銀	50 μg/Nm ³ 以下
ダイオキシン類	0.1 ng-TEQ/Nm ³ 以下



図表 5 炭化燃料

図表 6 炭化燃料の性状

項目	炭化燃料
低位発熱量 (無水)	16,000 kJ/kg 以上
水分	30~35 %
炭素分	25~28 %
揮発分	14~23 %
灰分	20~27 %
燃料比	1.2~1.8 %

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

2006年～2010年	国内企業が一般廃棄物の炭化燃料製造実証試験事業を実施
2010年	国内企業が開発断念、当社へ技術継承
2010年～2012年	商用化、連続運転システムの技術開発
2012年	第1号機受注
2015年	第1号機納入
2016年～2018年	性能向上技術開発
2018年～2021年	炭化燃料利用先拡大実証事業を実施
2022年～	炭化物貯留（CCS）研究開発

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

上記（1）に示す。

3. 独創性

本システムの独創性について、一般的なごみ処理方法のごみ焼却方式と比較して説明する。

ごみ処理施設には、ごみエネルギーを地域を含めた外部に供給、一般廃棄物最終処分場の残余年数の確保、ごみのリサイクル率の向上、2050年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化が求められている。本システムは、これらの要求に対して、貢献できるシステムである。

(1) 廃棄物エネルギーの回収

近年、大規模なごみ処理施設では、ごみを焼却しその熱を利用して、発電等でエネルギー回収することが主流となっている。しかし、全施設の40%程度を占める70t/日以下の小規模施設では、経済的な理由でボイラ・タービンを用いた発電設備を付帯することは困難であるため、単純焼却を採用している施設が多くあり、効率的なごみエネルギーの回収ができないことが知られている。

本システムでは、炭化燃料を製造することでごみエネルギーの30～35%を回収することが可能である。このエネルギーを50%程度のエネルギー回収率を実現している大規模な火力発電所で利用することでごみの15～17%のエネルギーを回収・利用することができる。

(2) 最終処分量の低減

従来のごみ焼却方式では、ごみに含まれる灰分を主灰と飛灰で搬出される。一方、本システムでは、ごみ中の多くの灰である主灰が、炭化燃料に含まれるため、ごみ処理施設の最終処分としては飛灰のみを搬出する。このことにより、ごみ焼却方式の最終処分量と比較して、約80%削減することができ、多くの自治体で課題となっている最終処分場の逼迫を抑制することができる。図表7に示す導入実績例の最終処分率の推移では、運用開始前後で最終処分率が12%程度から4%程度まで低減した。

(3) リサイクル率の向上

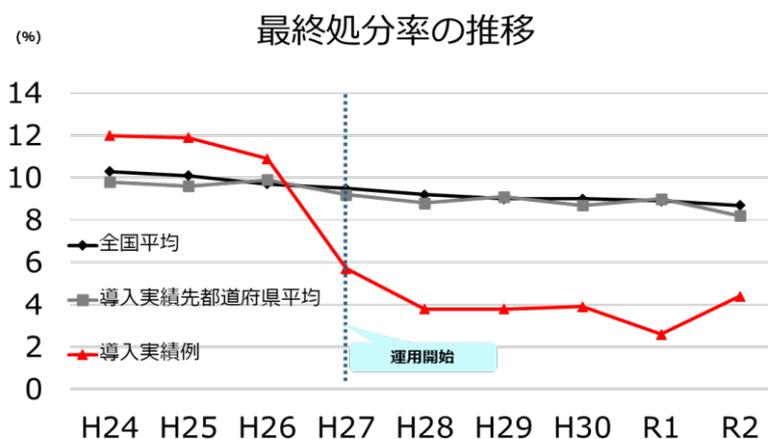
炭化燃料は、ごみの再生利用となるためリサイクル率の向上に寄与する。図表8に示す導入実績例のリサイクル率の推移は、運用開始前後で15%程度から30%程度まで向上した。

(4) CO₂排出量の削減効果（脱炭素化）

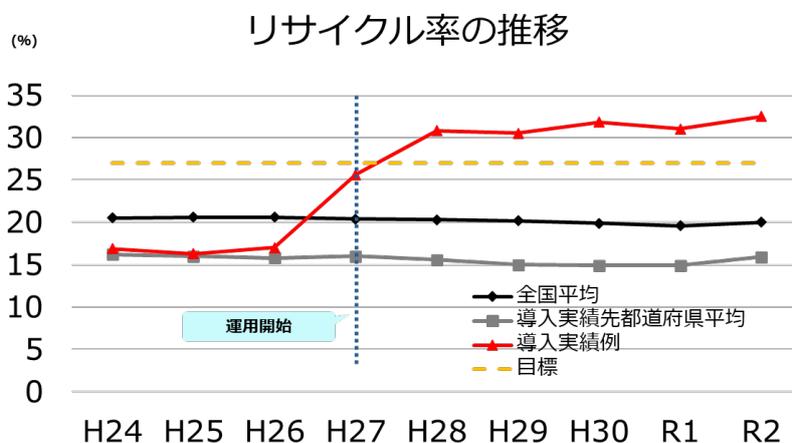
本システムでは、炭化燃料を製造し、施設外の化石燃料使用施設にて利用する。化石燃料の代替燃料として利用されるため、利用まで含めたトータルシステムで、代替した燃料が排出するCO₂を削減することができる。

分かりやすさのために、利用先でのCO₂削減分をシステム削減分としてごみ焼却方式である単純焼却と比較すると、図表9に示すとおり石炭代替では51%、重油代替では29%削減することができる。

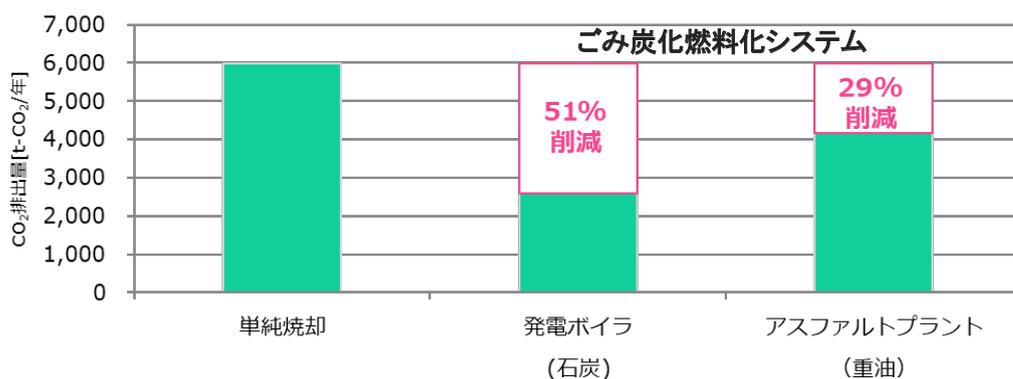
試算条件としては、ごみ中のプラスチック割合は15%、処理量30t/日、24時間、280日稼働とし、本システムには、炭化燃料の運送時に発生するCO₂排出量(12t/回、往復50km)を含んでいる。利用先の候補として、事業用大規模火力発電所での石炭代替（導入実績例）と「7. 将来性」でも述べるように液体燃料である重油を代替するアスファルトプラントで試算している。



図表7 最終処分率の推移 導入実績例



図表8 リサイクル率の推移 導入実績例



図表 9 本システムのCO₂削減効果

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み、1 件を出願中。

特許番号：第 6839995 号 / 名称：ロータリーキルン

特許番号：第 6865638 号 / 名称：ロータリーキルン及びその運転方法

出願番号：特願 2020-152184 / 名称：炭化物の脱塩装置及び方法

5. 性能

ごみ燃料化方式は、炭化燃料化方式も含めこれまで様々な方式の施設が建設されたが、爆発事故、燃料価値の低さにより利用されない等が原因で現在は採用され難くなっている。本システムは、これまでのごみ燃料化方式が抱えていた課題を多く解決しているため、その性能について説明する（図表 10）。

(1) 燃料の安全性

ごみを炭化せずに固形化したごみ燃料は、自然発火や発酵を起こしやすく、火災・爆発を引起こす可能性があることが知られている。そこで、炭化し固形化した燃料の危険性を確認するためにごみ炭化燃料をガラス瓶に入れ 26±1℃の環境下で密閉 11 日間保持した発酵試験を実施し、発酵ガスが発生しないこととともに、自然発火温度が 100℃以上であることを試験で確認している。この温度はバイオマス発電等で使用されている木質チップの自然発火温度（60～80℃）よりも高いため、分析値からも安全性の高い燃料であることが分かる。

(2) 燃料の品質と価値

ごみを炭化した燃料であっても、ごみがプラスチック等を多く含むため、塩素濃度が高くなる。本システムでは、開発した脱塩装置を設置して塩素濃度 0.4%以下を達成している。

(3) 起動用、補助燃料の使用量

ごみ炭化施設の多くは、准連続式施設であり、起動・停止のために化石燃料を使用し、運転中は、補助燃料を使用して燃料化している。本システムでは、24 時間運転を行い、ごみの自己熱を利用しているため、起動停止用の燃料、補助燃料の利用量を抑制している。

図表 10 従来方式と本システムとの性能比較

従来のごみ燃料化方式の課題	項目	本システム
自然発火や発酵を起こししやすい。	安全性	発酵しにくく、自然発火温度 100℃以上で発火しにくい。
ごみ由来の燃料のため、高塩素濃度であるため、利用先施設の腐食リスクがある。	品質 燃料価値	塩素濃度 0.4%以下と事業用火力発電所の燃料基準を達成。 有価で引取りされている実績あり。
准連施設で起動・停止が多く、補助燃料も多く使用している。	燃料使用量	24 時間運転で起動・停止が少なく、ごみの自己熱で炭化しているため、燃料の使用量が少ない。

6. 経済性

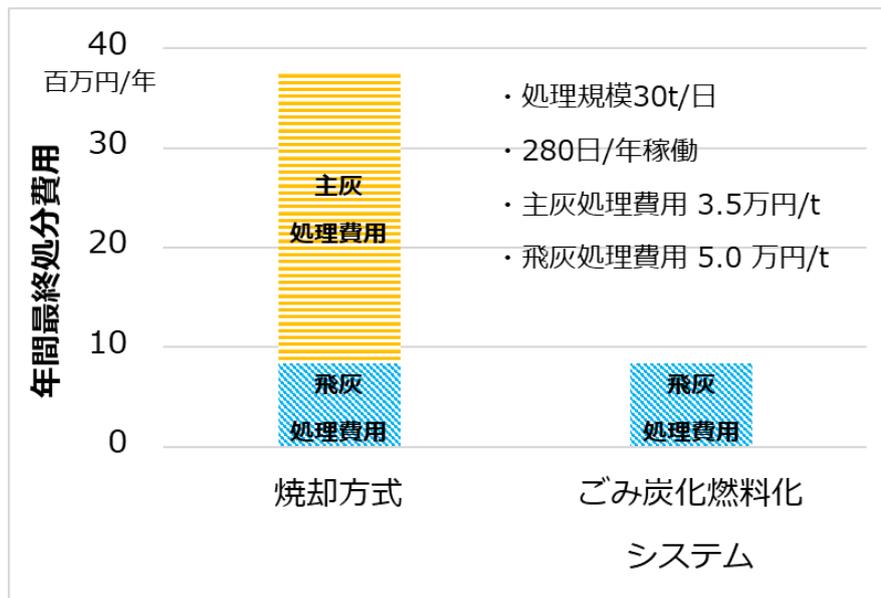
本システムとごみ焼却施設とを比較して本システムが特に経済性に優れている項目を2点説明する。

(1) ごみ焼却方式との比較

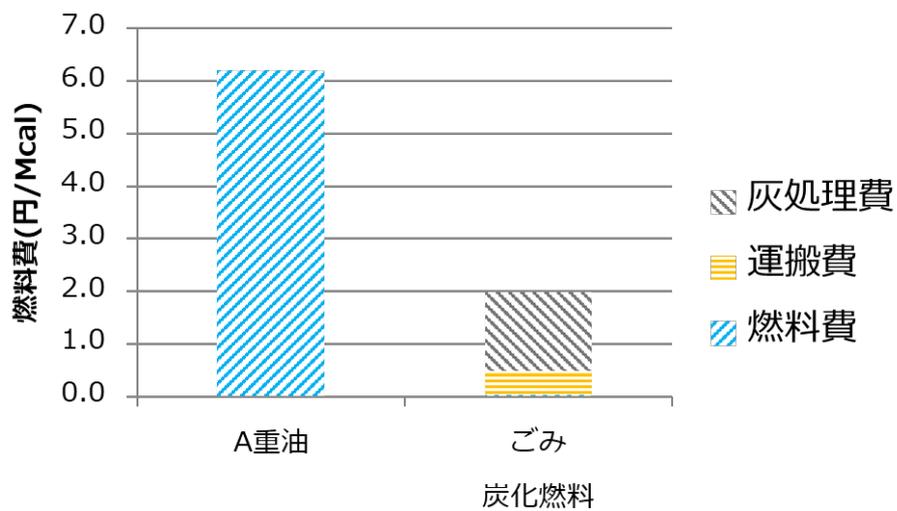
本システムは、ごみ焼却方式と比較して最終処分費用を低減できる。本システムでは、主灰は炭化燃料に含まれるため、最終処理費用を低減することができ、その費用は図表 11 に示すとおり、処理量 30t/日・280 日/年の稼働施設の場合、約 29 百万円/年を削減可能と試算される。加えて、最終処分場の延命化にも貢献することができることから、最終処分場の整備に必要な費用の削減効果も見込める。

(2) 炭化燃料利用先の経済性

本システムの炭化燃料は、利用先が利用するには、燃料費用がかかるが、発熱量当たりの燃料費用は化石燃料等と比較して安価である。これは、上述のように自治体は主灰の最終処理費用を負担せずに燃料として収入を得られることから、安価で販売が可能となるためである。炭化燃料の販売価格は、自治体によって変わるが、100 円/t と仮定した各種燃料とのコスト比較では、図表 12 に示すとおり、A 重油と比較して 4 円/Mcal 程度安く利用することができ、炭化燃料利用先にとっても経済性の良い燃料である。



図表 11 最終処理費用の経済性



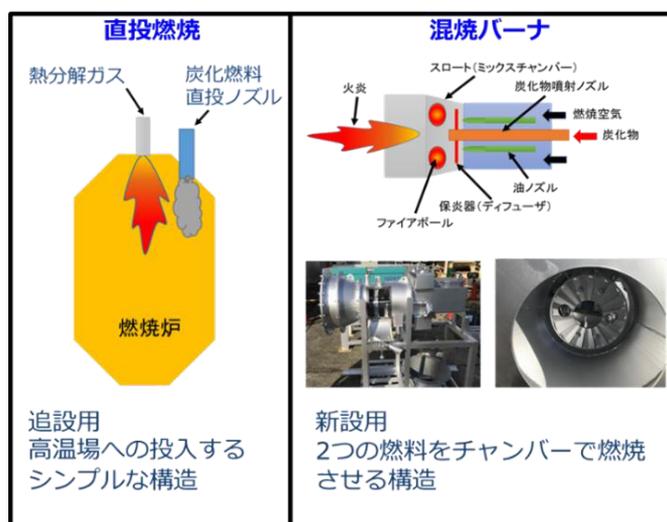
図表 12 ごみ炭化燃料の経済性

7. 将来性

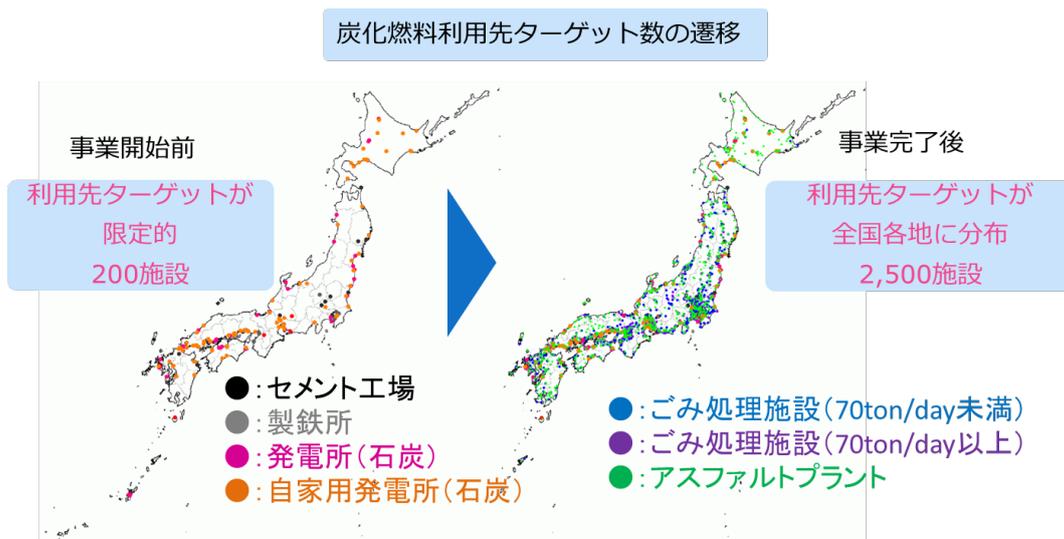
(1) 炭化燃料の利用先拡大

ごみの燃料化施設を建設する場合、燃料の利用先を確保することが重要である。そこで当社は、利用先を拡大するために、2018～2021 年度に環境省委託事業「中小規模廃棄物処理施設における先導的廃棄物処理システム化等評価・検証事業」にて、日工株式会社とともに開発事業に取り組んだ。

開発事業前は、火力発電所、自家用発電所等国内に約 200 施設の限定的な利用先であったが、開発事業後は、図表 13 に示す液体燃料と混焼できる燃焼システムにより全国に広く分布するごみ処理施設やアスファルトプラント 2,500 施設（図表 14）で利用できるようになった。



図表 13 環境委託事業で開発した燃料システム



図表 14 炭化燃料利用先候補の拡大

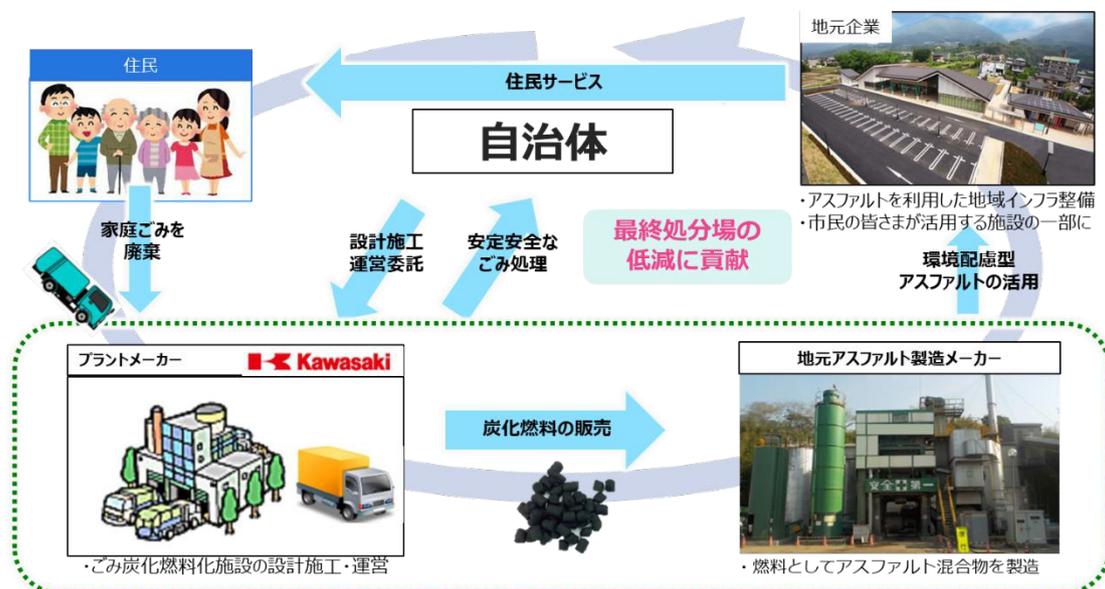
アスファルトプラントでは、必要なタイミングで稼働させる准連続式を採用している施設が多く、化石燃料を多く利用している。液体燃料に20～50%混焼（熱量比）させ、問題なく稼働することを確認するとともに、炭化燃料に含まれる灰がアスファルト合材に含まれ、材料の一部として代替することができ、アスファルト合材の強度等に問題ないことを確認した。この場合、図表 11 に示す炭化燃料の費用のうち、大きな割合を持つ灰処理費用が無くなるため、更に炭化燃料の経済性がよい燃料となる。

この開発事業により、図表 15 に示すような、環境配慮型のアスファルト合材を地域で活用でき、地域循環型社会の推進にも貢献することが期待できる。

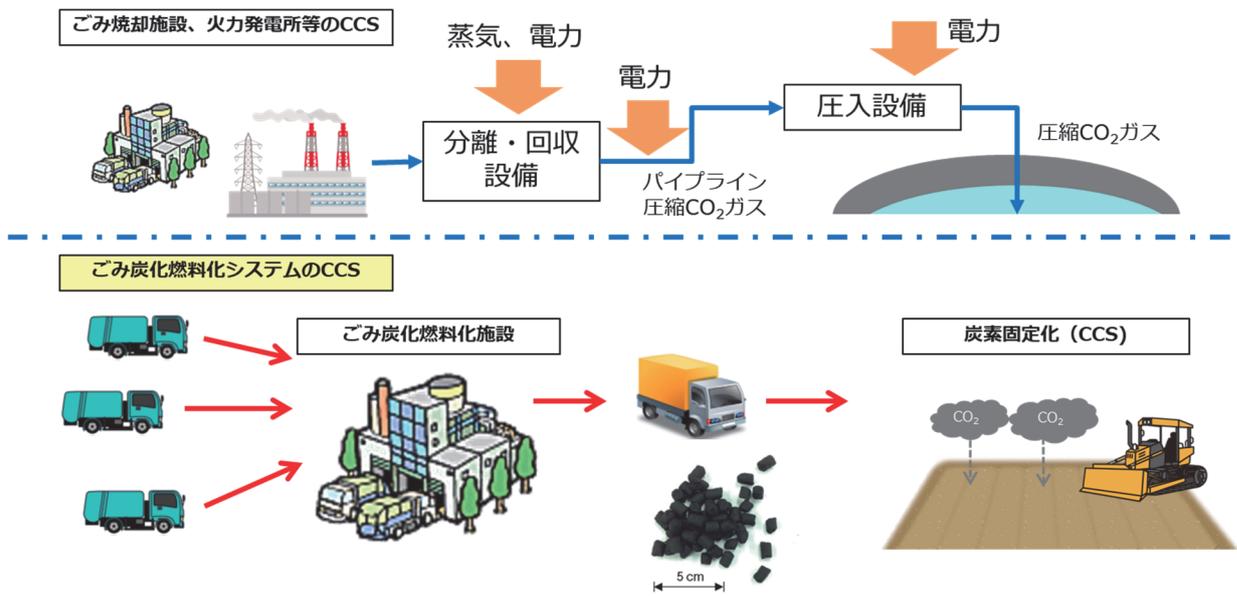
さらに、脱炭素社会への貢献や燃料（化石燃料、バイオマス燃料）の高騰のため、その他の施設（製錬所、バイオマス発電所）からの炭化燃料の利用要望による実証試験やケミカルリサイクルやマテリアルリサイクルでの利用の検証も行うなど、様々な方面で将来性のある燃料である。

（2）炭化燃料による炭素固定化・貯留

脱炭素社会へ向けて、火力発電所等では排ガス中の CO₂ 回収及び利用又は貯留を行う事業が活発に行われている。CO₂ 回収・貯留には、蒸気や電力を多く使うが、本システムでは、ごみを処理する過程で炭素分を固定化することが可能であるとともに、固定化された炭化物を最終処分場の覆土材等に利用することで図表 16 に示すように大規模 CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）と比較して簡単に脱炭素社会に貢献することができる。



図表 15 アスファルトプラントでの炭化燃料利用による地域循環型社会イメージ



図表 16 本システムの CCS イメージ