

循環型社会に向けたリサイクル技術

Recycling Technology of JFE Group for Recycle Oriented Society

大垣 陽二 OGAKI Yoji JFE スチール 総合リサイクル事業センター 企画部 主任部員(部長)
山田 裕 YAMADA Yutaka JFE 環境 事業開発部 担当部長
野村 眞 NOMURA Makoto ジャパン・リサイクル 工場長

要旨

JFE グループでは循環型社会に対応するため、廃棄物を循環資源として捉え、製鉄所の製鉄原料として再利用するための技術開発を行ってきた。2000年以降の各種のリサイクル法の施行に対応し、プラスチック製容器包装、使用済みペットボトル、使用済み家電製品、食品廃棄物などの再資源化工場を建設し、リサイクル事業を展開している。本報告では、これらの循環型社会を築くリサイクル技術について概説した。

Abstract:

Corresponding to the recycle oriented society, JFE Group has developed technology for reusing wastes as suitable circulating resources for ironmaking. In compliance with the regulations of the recycling law since 2000, JFE Group started recycling business for reusing plastic packages, waste electric home appliances, waste polyethylene terephthalate (PET) bottles, and food waste. In this paper, the outline of these recycling business and technologies of JFE Group for constituting a recycle oriented society are presented.

1. はじめに

現在、地球温暖化防止(CO₂削減)とともに、廃棄物処理が今後の循環型社会形成のための重要な社会的課題として認識されている。

JFE グループでは、長年培った製鉄技術とエンジニアリング技術のシナジー効果を生かして、省資源・省エネルギー・環境保護にグループ全体で取り組んできた。その中で、首都圏に位置する東日本製鉄所は、都市共生・環境調和型製鉄所を目指し、都市廃棄物の循環利用の可能性を追求してきた。この動きはさらに、西日本製鉄所においても展開されている。

本報告では、循環型社会に向けて、製鉄所の製鉄プロセスを最大限に活用した、リサイクル事業およびその技術を紹介する。

2. 各種リサイクル法の施行と JFE グループのリサイクル事業展開

1991年に制定された「資源の有効な利用の促進に関する法律(平成3年法律第48号)」では、廃棄物を有用な資源としてリサイクルする考え方が示され、製造者が使用済み

廃棄物のリサイクルに責任を持つという「拡大生産者責任」の考えが導入された。さらに、2000年6月には「循環型社会形成推進基本法(平成12年6月2日法律第110号)」が成立し、不法処理・投棄などの問題解決のために、廃棄物を「循環資源」としてリサイクルを促進するとともに、廃棄物の発生を抑制(reduce)、再使用(reuse)することを優先し、それらが実現できない場合には再生(recycle)、熱回収、適正処理を行うという考えが示された。

また、JFE グループのリサイクル事業の契機となった「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(容器包装リサイクル法)(最終改正:平成12年6月7日法律第113号)」は1995年6月に成立し、2000年4月に完全施行された。

国内で発生する使用済みプラスチックは、産業廃棄物系および一般廃棄物系がほぼ半量ずつであり、合計約990万トン(2002年)である。その45%の約450万トンが単純焼却や埋め立て処分されている。プラスチック製容器包装は一般廃棄物系の使用済みプラスチックの約7割を占めるため、これを製鉄所の原料として再資源化すれば、使用済みプラスチックの有効利用率を高めることにつながる。

JFE グループでは、容器包装リサイクル法の他、「特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)(平成10年法律第97号)」など順次施行されるリサイクルに係わる法律に

対応して、これらの使用済み製品を循環資源として製鉄所の原料とするリサイクルビジネスを立ち上げてきた。

3. 製鉄プロセスでの使用済みプラスチックの再利用

3.1 高炉原料化

3.1.1 産業廃棄物系プラスチックの処理

製鉄用高炉では、コークスをCOにガス化し、その還元作用で鉄鉱石（酸化鉄）を鉄に還元している。使用済みプラスチックは、このコークスの代わりに、高炉用還元剤として利用することができる。

プラスチックは、破碎・造粒した後、高炉下部の羽口部分より高炉内に吹き込むと、COとH₂に分解され、還元ガスとして鉄鉱石を鉄に還元する。

H₂による還元反応があるため、コークスだけで操作する場合と比べ、CO₂の発生量が約30%少なくなる。吹き込まれたプラスチックは約60%が鉄鉱石の還元に使われ、残り約40%は所内の発電所や熱風炉の燃料として利用される。しかし、塩化ビニル（PVC）などの塩素含有プラスチックは、発生するHClによって高炉設備が腐食する恐れがあり、現在のところ、利用できない。

ボトルなどの固形プラスチックは、破碎機によって所定粒径に破碎し、直接吹き込むが、フィルム状プラスチックは、粉碎した後、造粒機で所定の粒径に造粒して吹き込んでいる。産業廃棄物系プラスチックは、排出元において、材質が判明しており、入荷時にPVCの混入を避けることができるため、PVC分離は必要ない。

東日本製鉄所では、1996年10月より、PVC以外の産業廃棄物系プラスチックの高炉原料化を実施し、年間約5万トンのプラスチックを高炉還元剤として再利用している。

3.1.2 一般廃棄物系プラスチックの処理

2000年4月に容器包装リサイクル法による、プラスチック製容器包装の再商品化が開始された。本法律では、ケミカルリサイクルの再商品化方法として、高炉還元剤の他に、ガス化、油化とコークス原料化が指定されている。高炉原料化処理フローをFig. 1に示す。

高炉原料化設備では、自治体が収集し、圧縮固縛した分別基準適合物を解砕した後、揺動式プラスチック種類選別機に掛け、混入した異物の除去を行う。固形・ボトル類は手選別ラインを通し、再商品化不適物の除去を行った後、破碎機で所定の粒径に破碎し、高炉用還元剤とする。

一方、フィルム類は破碎機によって所定粒径に破碎後、プラスチックの比重差を利用した遠心式比重分離装置によって、PVCを取り除く。PVCが分離されたフィルム類は造粒機によって所定の粒径に造粒し高炉用還元剤とする。

2000年4月から施行されたプラスチック製容器包装の再商品化に対応するため、東日本製鉄所 京浜地区（神奈川県川崎市）および西日本製鉄所 福山地区（広島県福山市）の両製鉄所に、合計で年間約12万トンの処理能力を持つ、高炉原料化設備を稼働させている。2000年4月の運転開始以来処理量は順調に増加し、2004年度は自治体収集量の約2割を再資源化する予定である。

3.2 塩化ビニルの脱塩素高炉原料化技術

使用済みプラスチックの高炉原料化設備では、不適物であるPVCを分離除去している。このPVCを高炉原料として利用できれば、ほとんどすべてのプラスチックを高炉原料化することが可能となる。

O₂遮断した雰囲気の中で、PVC類を300℃～400℃に加熱処理をすることによって、PVC類は熱分解しHClを発生する。この性質を利用してPVC類を熱分解し、熱分解残渣を高炉還元剤とするとともに、発生したHClを回収する

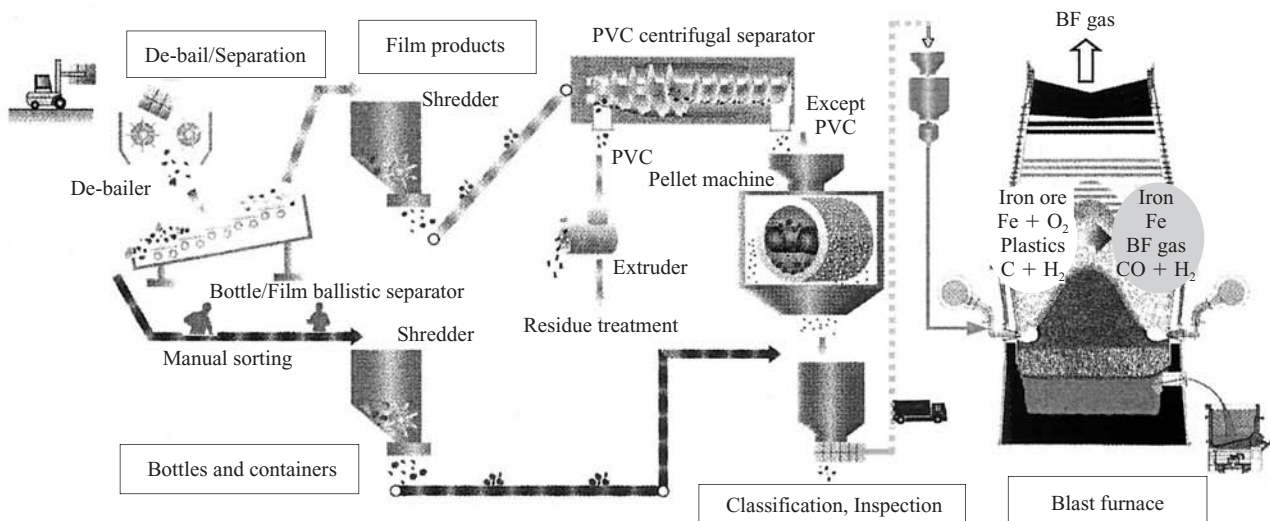


Fig. 1 Schematic flow for converting domestic waste plastics to raw material for blast furnace

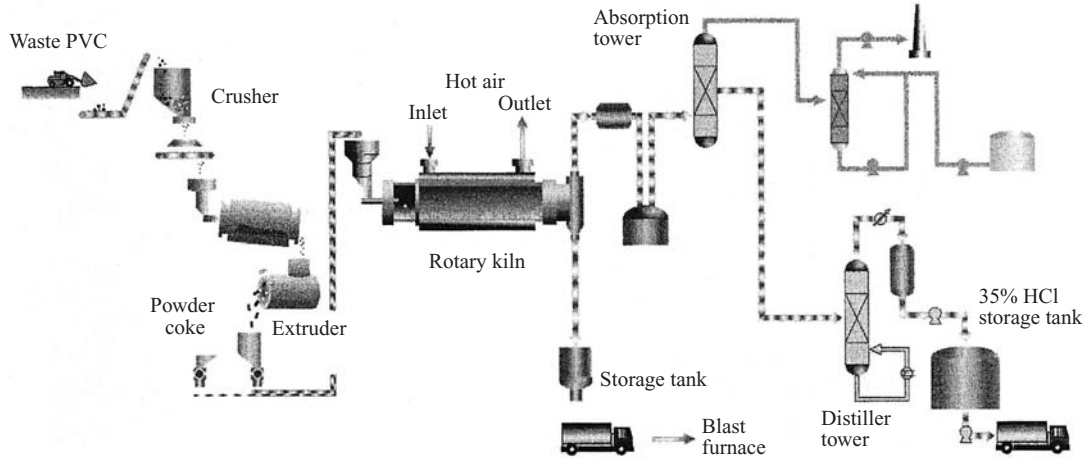


Fig.2 Schematic flow of PVC recycling using rotary kiln

ことができれば、完全リサイクルが可能となる。

Fig. 2 に示す外熱式のロータリーキルン内で、PVC を媒体とともに攪拌し、熱分解を行った後、熱分解物を冷却後破碎し、高炉用還元剤として利用する。媒体としては、製鉄所内の原料である粉コークスを用いており、熱分解物の塊状化防止およびキルン内壁への付着防止の役割を果たしている。また、熱分解によって発生する HCl は吸収塔で水に吸収させた後、蒸留することによって精製し、塩酸として回収する。

1999 年から、(社)プラスチック処理促進協会と塩ビ工業・環境協会と共同で、塩酸回収を含めた PVC 脱塩素高炉原料化技術の実証プラント (5000 t/y 規模) を建設し、実証試験および実用化試験を行い、本プロセスの技術的見通しを得た。1 年間の実用化試験を終了し、2004 年 4 月から本格的に事業を開始した。

3.3 ガス化改質炉による燃料ガス製造

JFE グループでは可燃性廃棄物のガス化熔融技術として、

高温ガス化直接熔融炉とサーモセレクト方式ガス化改質炉の 2 種類のガス化熔融炉技術を保有している。

ジャパン・リサイクルでは、1999 年 9 月に東日本製鉄所千葉地区に Fig. 3 に示すサーモセレクト方式ガス化改質炉を稼働させ、産廃系可燃性廃棄物やプラスチック製容器包装を対象にガス化し、製造ガスを製鉄所へ燃料ガスとして供給している。

サーモセレクト方式の特徴は、約 1200°C の高温で可燃性廃棄物をガス化し、ガス改質・精製過程を経ることによって、ダイオキシン類の発生を極限まで抑制したクリーンな燃料ガスを回収できる点にある。また、無機物はスラグ、金属、金属水酸化物、硫黄などとして再資源化ができる。

現在、西日本製鉄所倉敷地区での一般廃棄物の PFI (民間主導社会資本整備) ガス化事業へも参加し、2005 年度事業開始を目指している。

一方、2005 年 1 月より法律に基づく制度が本格施行される「使用済み自動車の再資源化等に関する法律 (自動車リサイクル法) (平成 14 年法律第 87 号)」では、2015 年以降

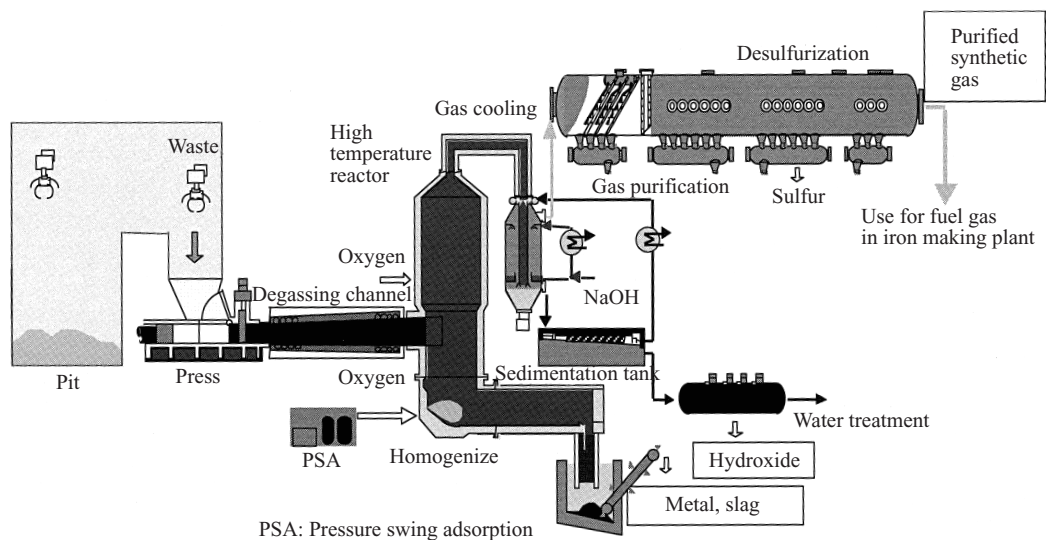


Fig.3 Thermoselect process

にリサイクル率 95%，シュレッダーダストの埋め立て量を 1996 年の 1/5 以下にすることが定められている。シュレッダーダストの再資源化方法として、可燃分をガス化するだけでなく、廃棄物中の不燃物を溶融スラグ・金属として再資源化することができるガス化溶融炉での処理が大いに期待されている。

4. 使用済みプラスチックの材料リサイクル

4.1 コンクリート型枠用ボードの製造

プラスチック製容器包装などの使用済みプラスチックの中には、材料リサイクルに適した比較的良質なプラスチックが含まれている。これらの良質プラスチックを効率的に取り出し、夾雑物を取り除いた再生樹脂を用いてコンクリート型枠用ボード「NF ボード」を製造する技術を開発し、2002 年 9 月より事業を開始した。

この事業の背景には、現在、コンクリート型枠用として木質合板が年間約 1 億枚使用されているが、CO₂ 削減、熱

帯雨林保護の観点から南洋材の使用削減が求められていること、および、2002 年度より全面施行された「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）（平成 12 年法律第 104 号）」により、建設廃材を 95% 以上リサイクルすることが必要となったことなどがある。事業化に先駆け、鹿島建設(株)、大成建設(株)、清水建設(株)の建設会社と共同で、Fig. 4 に示す、NF ボードリサイクルシステムを構築した。

このリサイクルシステムでは、使用済みプラスチックから製造した NF ボードは建設工事現場でコンクリート型枠用ボードとして数回使用される。使用済みのボードは、回収した後、使用済みプラスチック高炉原料化工場で破砕し、製鉄用高炉で鉄鉱石の還元剤として利用する。これによって、使用済みプラスチックの材料リサイクルとケミカルリサイクルの両方を実現できる。

4.2 使用済みペットボトルの再資源化

使用済みペットボトル（清涼飲料、醤油、酒類用）に対する、容器包装リサイクル法は 1997 年施行された。

JFE 環境では東日本製鉄所 京浜地区内に年間処理能力 1 万トン規模の再資源化工場を建設し、2002 年 4 月より再商品化事業を開始した。

Fig. 5 に使用済みペットボトル再資源化設備の処理フローを示す。この設備は、使用済みペットボトルのうち、透明ボトルを対象に、再生ペット樹脂フレークに加工するものである。市町村によって収集された使用済みペットボトルには色付きボトルやキャップ、ラベルなどの他材質プラスチック異物が混入している。これらの異物を、効率良く、高精度で分離することが、この設備の重要なポイントとなる。このため、機械選別、手選別、自動他材質ボトル選別装置やラベル、キャップ分離装置を組み合わせている。なお、

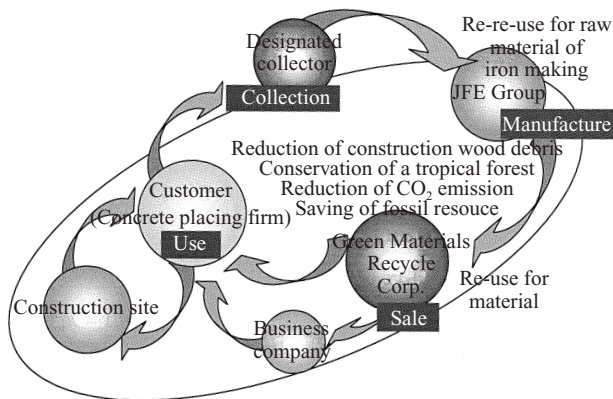


Fig. 4 Recycling system for making NF board

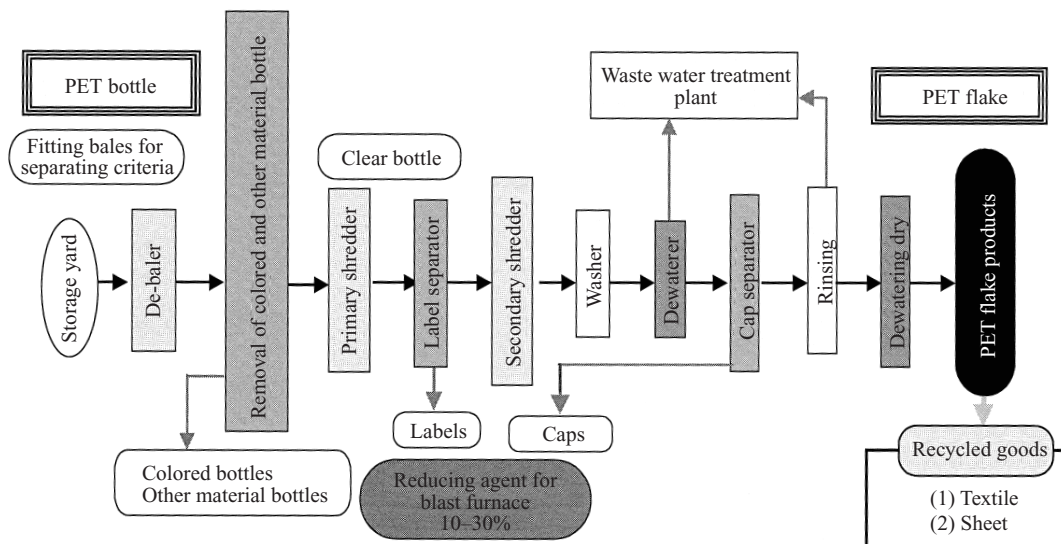


Fig. 5 Schematic flow in the facility for recycling waste PET

これらの異物は隣接する使用済みプラスチック高炉原料化設備に送り、高炉用還元剤として製鉄所で再利用している。

このように、本施設は製鉄所内に位置することを最大限に利用することによって、廃棄物をほとんど発生させることなく、使用済みペットボトルの再資源化を達成することができるという大きな特長を持っている。

なお、再生ペットフレックは従来、綿やシート用に使われることが多かったが、この設備ではアルカリ洗浄を採用し、高級繊維用の再生ペットフレックを主に製造している。

5. 使用済み家電製品のリサイクル

2001年4月に「特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）（平成10年6月5日法律第97号）」が施行された。本事業を行うために旧NKK（現JFEスチール）は、三井物産（株）、三洋電機（株）と共同出資して旧エヌケーケートリニケンス（現JFEアーバンリサイクル）を設立した。

JFEアーバンリサイクルは、家電製品製造者の委託を受けて、東日本製鉄所構内に家電4品目（テレビ、洗濯機、エアコン、冷蔵庫）合計で年間80万台の処理ができる再資源化工場を建設し、2001年度より事業を行っている。

4品目の素材構成では、テレビのガラス比率が他に比べ高いが、平均では鉄、プラスチック、非鉄で80%以上を占めている。法律で定められた再資源化率はテレビ55%以上、冷蔵庫50%以上、洗濯機50%以上、エアコン60%以上であり、これを達成させるためには、鉄、プラスチック、非鉄を効率よく回収することが重要となる。

設備建設に際しては、JFEグループで培われた破碎・選別・リサイクル技術を基にして、リサイクル率を高めるよう装置設計を行った。Fig. 6に使用済み家電製品再資源化処理フローおよび回収物の再利用先を示す。設備構成は前分別工程である手選別設備と破碎・選別設備から構成されている。

手解体設備は使用済み家電製品が入った専用のコンテナから手解体場に取り出すハンドリング装置、秤量器、作業台、冷蔵庫／エアコン用の冷媒フロン回収装置などで構成されている。破碎・選別設備は破碎機、風力選別機、磁力選別機、非鉄選別機、ウレタン減容機、断熱フロン回収装置などで構成されている。

テレビ処理棟ではテレビの基板、ケーブルなどを回収しブラウン管を筐体と分離する。プラスチックの筐体は高炉原料として利用している。ブラウン管は専門のカレット会社にて処理され、ブラウン管原料として再利用されている。

前処理・破碎棟では、テレビ以外の3品目の手解体を行っている。冷蔵庫およびエアコンの手解体では、テレビと同様にプラスチックなどの回収を行うほか、冷媒フロンを回収している。洗濯機についても、同様の回収のほか、洗濯槽の上部にバランス用として取付けられている塩水リングから塩水を取り除き別途委託処理をしている。

手解体された後残ったものが、破碎機に投入され、機械選別される。風力選別機では、冷蔵庫断熱ウレタンが分離された後、圧縮減容され、高炉原料として利用される。断熱ウレタンには発泡剤としてフロンなどが使われているが、破碎、圧縮減容の工程での排気を活性炭で吸着処理する。

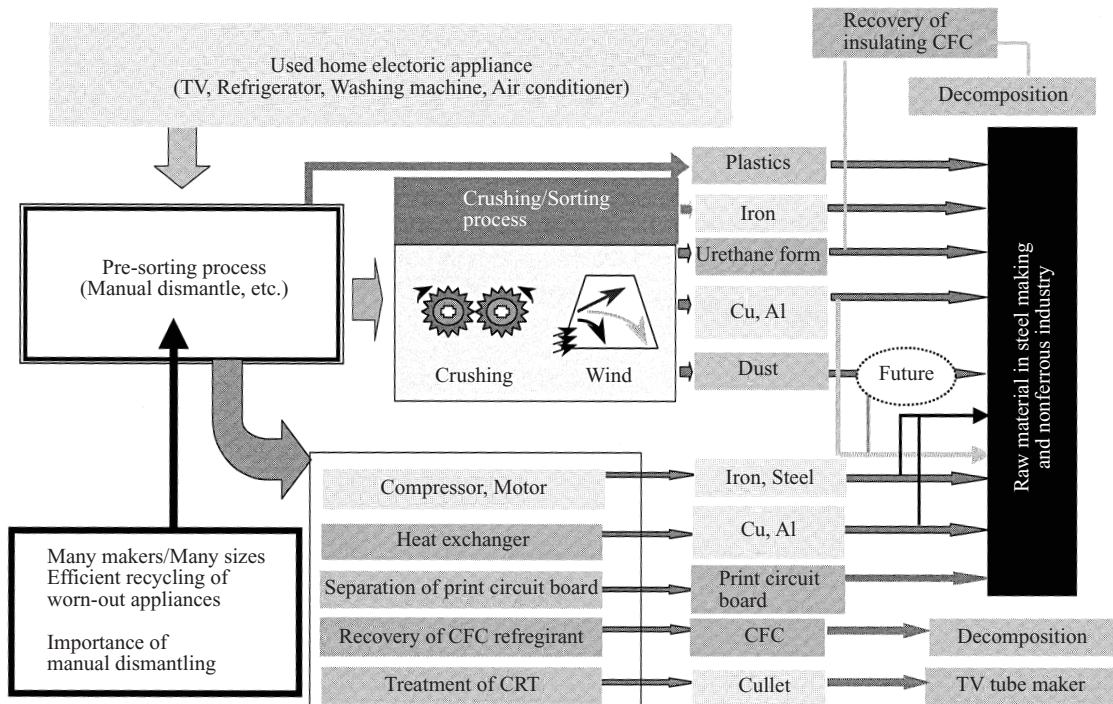


Fig. 6 Schematic flow of recycling used home electric appliances

回収したフロンなどは外部委託処理をしている。磁力選別機で鉄を、非鉄選別機で非鉄を回収し、製鉄原料として利用している。

本設備は、再商品化処理で回収した資源の多くを製鉄プロセスで活用できる点に、事業の特徴がある。特に、家電素材の約3割を占めるプラスチックについては、使用済みプラスチック高炉原料化事業に直結できる優位性をもっている。

6. さらに循環型社会に向けた取り組み

6.1 食品リサイクル

食品廃棄物の資源化を促進するため、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）（平成12年6月7日法律116号）」が2001年6月に施行された。ジャパン・リサイクルでは、東日本製鉄所千葉地区に Fig. 7 に示すメタン発酵法によるビガダン方式バイオガスシステムによる食品廃棄物の資源化施設を建設し、2003年4月より事業を開始した。処理能力は食品廃棄物30t/dであり、メタン含有量約60%のバイオガスを4700m³-normal/d発生させることができる。発生したバイオガスは燃料ガスとして製鉄所のガス配管に供給し、発電所や所内の加熱炉などの燃料として利用している。

一方、本施設の運転に必要な電力、蒸気は製鉄所から供給される。また、消化液の脱水脱離水は製鉄所の既存の水処理施設に移送して処理している。

このように、製鉄所の既存のインフラを最大限に有効利用している。消化液中の残渣は、脱水、乾燥を行った後に、隣接するガス化溶融施設で、さらにガス化処理される。いわば二段階のカスケード処理であり、国内に類を見ない施設である。

設である。

6.2 蛍光灯リサイクル

現在、使用済み蛍光灯は国内で年間約4億本発生するが、そのほとんどが埋め立て処理されており、それに含まれるHgによる環境、水質への影響が懸念されている。

JFE環境では、1994年より使用済み蛍光灯のガラス回収設備を稼働していたが、2000年より直管型の蛍光灯を対象として蛍光灯中の水銀を回収するリサイクル設備を稼働し、さらに2004年1月には環状蛍光灯、コンパクト型蛍光灯などあらゆる蛍光灯のリサイクルが可能となった。

設備構成を Fig. 8 に示す。口金をガスまたは砥石により切断、除去した後内部をエアブローすることによりガラス、Hgを含む蛍光粉、口金に分離する。ガラスは破碎し酸洗浄することにより、付着した蛍光粉、Hgを完全に除去し軽量骨材、グラスウールなどの原料として使用する。

蛍光粉は、減圧下で加熱しHgを蒸発、再凝縮させて金属水銀として回収する。口金は、破碎、磁力選別、非鉄選別によりアルミニウム、鉄、プラスチックに分別し利用する。

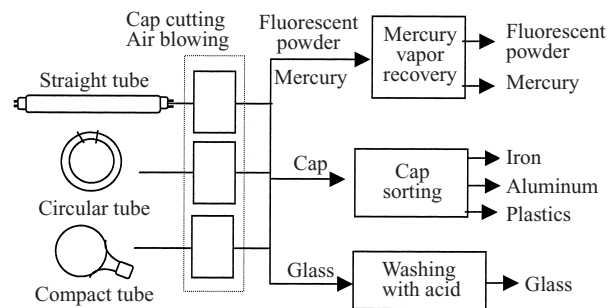


Fig.8 Schematic flow in the waste fluorescent tube treatment facility

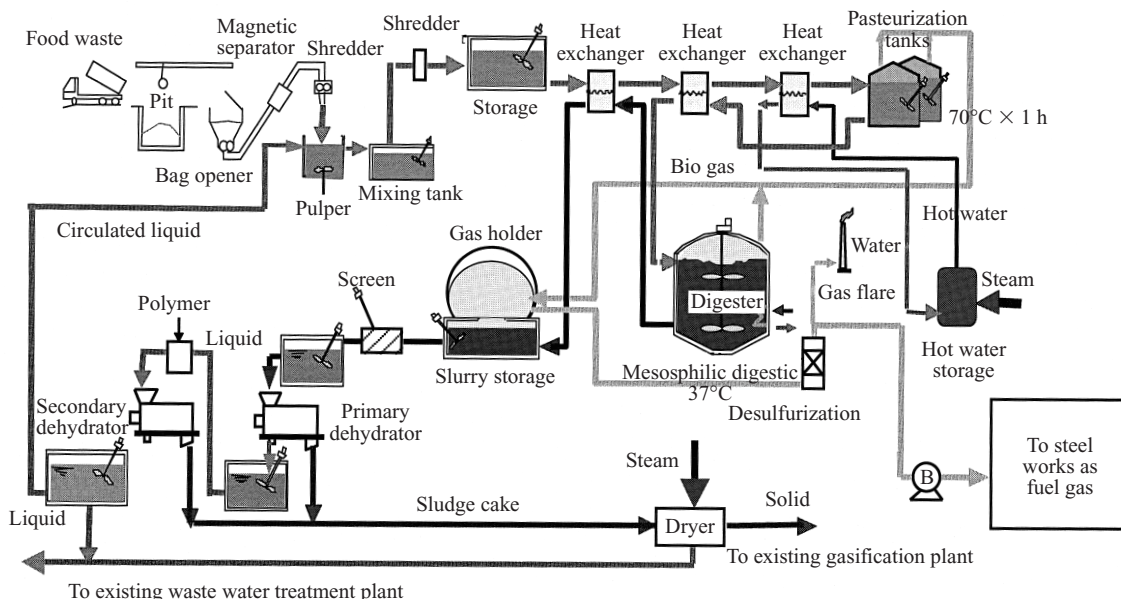


Fig.7 Schematic flow of Bigadan Biogas Process

本工場は、現在年間5000tの能力を持っているが、将来12000tへ能力増強する予定である。

開発を行い、循環型社会の形成に向けて積極的に推進して行きたいと考えている。

7. おわりに

JFEグループが現在取り組んでいるリサイクル事業に関して述べた。都市型製鉄所は、廃棄物の大量発生地を背後に有するという最大の特徴を生かせるリサイクル事業を取り込むことによって、新たな存在価値を創生することに成功した。特に、製鉄所の既存設備を活用することによって、廃棄物を循環資源として生まれ変わらせ、これらを製鉄原料として有効利用することが可能になった。今後も、自動車廃棄物などの新たな法制化とともに、タイムリーな技術



大垣 陽二



山田 裕



野村 眞