
ごみ固形燃料（RDF）炭化技術と炭化物利用技術

RDF Carbonization Technology and Application of Carbonized RDF

塩津 浩一(Koichi Shiotsu) 山田 純夫(Sumio Yamada) 吉田 鉄男(Tetsuo Yoshida)

要旨：

RDF 炭化物を、微粉炭，コークス代替として製鉄プロセスで利用するマテリアルリサイクルを目的にして，川崎製鉄水島製鉄所内に RDF 炭化実証炉（1.25 t-RDF/h）を建設し，実証実験を行なった。この RDF 炭化システムは，高温熱分解により RDF 中の揮発分を約 10% 以下にした。その結果，RDF 炭化物は，製鉄プロセス利用が可能になった。RDF 炭化システムの概要，最新のデータおよび利用状況を紹介する。

Synopsis：

A field test plant of RDF carbonization furnace of test manufacturing capacity, 1.25 t-RDF/h, was constructed and started operation in April 2000 at Mizushima Works of Kawasaki Steel to evaluate the material recycling of carbonized RDF as an alternative material of pulverized coal or coke at steel making process. Volatile matter of RDF was reduced to a level lower than approximately 10% through thermal decomposition, and the quality of carbonized RDF was confirmed to be usable for the above-mentioned purposes. Process design, operating conditions and latest data are described in this report.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

RDF Carbonization Technology and Application of Carbonized RDF



塩津 浩一
Koichi Shiotsu
環境事業部 環境技術
部 主査(掛長)



山田 純夫
Sumio Yamada
環境事業部 環境技術
部長



吉田 鉄男
Tetsuo Yoshida
環境事業部 環境技術
部 主査(部長補)

要旨

RDF 炭化物を、微粉炭、コークス代替として製鉄プロセスで利用するマテリアルリサイクルを目的として、川崎製鉄水島製鉄所内に RDF 炭化実証炉 (1.25 t-RDF/h) を建設し、実証実験を行なった。この RDF 炭化システムは、高温熱分解により RDF 中の揮発分を約 10% 以下にした。その結果、RDF 炭化物は、製鉄プロセス利用が可能になった。RDF 炭化システムの概要、最新のデータおよび利用状況を紹介する。

Synopsis:

A field test plant of RDF carbonization furnace of test manufacturing capacity, 1.25 t-RDF/h, was constructed and started operation in April 2000 at Mizushima Works of Kawasaki Steel to evaluate the material recycling of carbonized RDF as an alternative material of pulverized coal or coke at steel making process. Volatile matter of RDF was reduced to a level lower than approximately 10% through thermal decomposition, and the quality of carbonized RDF was confirmed to be usable for the above-mentioned purposes. Process design, operating conditions and latest data are described in this report.

1 緒 言

大量生産・大量消費・大量廃棄をベースに高度に成長してきた現代社会は、廃棄物処理において、(1) 埋立地がない (1996 年度最終処分場残余年数：一般廃棄物 8.8 年、産業廃棄物 3.1 年)、(2) ダイオキシン類の発生という深刻な問題を発生させた。

これらの深刻な問題に対し、近年、ごみ行政は、単なるごみ焼却から 3R (reduce, reuse, recycle) や環境保全への意識改革に積極的に取り組んで問題の解決を図ろうとしている。厚生省は広域化処理を推進しており、高度な排ガス処理、ごみ発電、灰の溶融処理などは必須である。さらに、ガス化溶融設備など最新技術の導入により、サーマルリサイクルの他、マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルも可能になってきた。現代社会は、大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済社会から脱却し、循環型社会へ着実に前進している。

しかしながら、これらがすべての自治体で実施できるわけではなく、どうしても小規模処理を選択せざるを得ない場合がある。そのような自治体に採用される技術がごみの固形燃料 (RDF) 化施設である。1994 年に富山県南砺リサイクルセンターが国庫補助事業として初めて認可されて以来、全国 23 ヶ所 (1999 年度末現在) で建設されてきた。当社は南砺リサイクルセンターを始め、11 施設の受注実績がある。一般ごみの RDF 化は、広域 RDF 発電のような大規模利用では問題ないが、中小規模利用において、冷暖房給湯、融

雪、セメント、民間利用などのサーマルリサイクルだけでは十分に RDF を利用できていない自治体もあり、普及が停滞しているのが実情である。

当社は、RDF の利用²⁾について研究を進めてきた。特に製鉄所での利用は、サーマルリサイクルを越えたマテリアルリサイクルを意味し、その用途拡大の成果は大きいと考えられ、積極的に開発に取り組んできた。当初、コークス炉でのコークス原料一部代替、焼結・転炉での熱源・炭素源、高炉での微粉炭一部代替などの RDF 直接利用を試みた。しかし、揮発分、塩素、性状などが問題となり、いずれも代替利用することができなかった。

それらの問題を解決するために、RDF を高温熱分解により炭化処理することを発案した。炭化物製造方法および利用方法などの実証確認を行なうため、水島製鉄所内に RDF 炭化実証炉 (最大設備能力 1.25 t/h) を建設した。

本報告では、RDF 炭化プロセス、実証試験内容および製鉄所における利用を述べる。

2 これまでの検討経緯と RDF のラボ炭化実験

2.1 製鉄所における RDF の直接利用

RDF の製鉄所内での直接利用について、1995 年頃から検討してきた。これまで実験実施あるいは検討された結果を整理して Table 1 に示す。コークス炉、焼結機、高炉での直接利用に関して、(1) RDF の品質 (塩素他)、(2) タール分 (揮発分)、(3) 性状 (強度、

* 平成12年8月21日原稿受付

Table 1 Survey of examined applications in ironmaking process

Form	Coke oven	Sintering furnace	Blast furnace	Problem
Gas			Corrosion	HCl repression of formation
Tar		Lower performance of WEP		Tar removal
Dust	Working environment			Dust removal
Leftovers	Lower strength of coke	Quality problem	Quality problem	Na, K, Cl removal

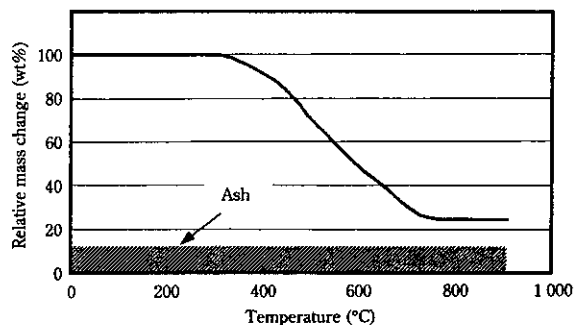


Fig. 1 Heat resolution behavior of RDF

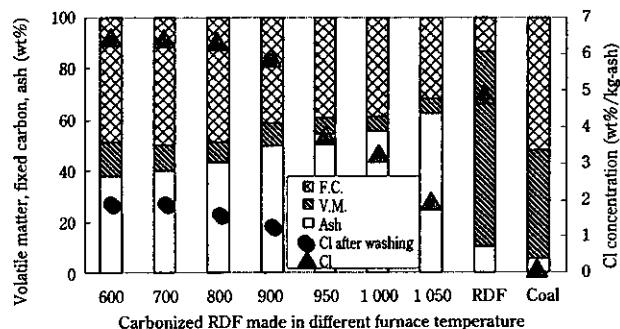


Fig. 2 Heat resolution behavior of RDF

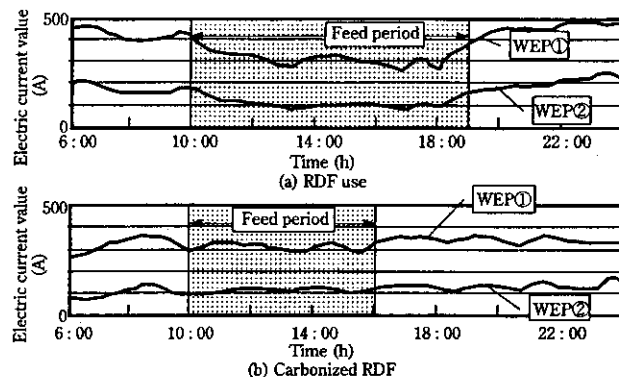


Fig. 3 Electric charge condition in WEP

の荷電状況を、下側に RDF 炭化物を使用した時の WEP 荷電状況を示す。RDF を直接使用したものは、添加直後からタール分などの影響により荷電の著しい低下が見られたが、RDF 炭化物を使用したものは、ほとんど変化が見られなかった。RDF 炭化物を添加した約 6 時間、安定した荷電を続けて得られ、利用上問題ないことを確認した。

焼結機にて、RDF 炭化物を利用できる見通しがついたので、本格的に RDF 炭化システムの開発および利用技術の開発を開始した。

発塵など)に課題があることが分かった。そのため RDF の製鉄プロセスでの直接利用は困難であるという結論になった。

2.2 RDF のラボ炭化実験

これらの問題を解決するために RDF の炭化について検討した。

ラボスケールの実験で RDF を低酸素濃度雰囲気において熱分解した時の挙動を Fig. 1 および 2 に示す。RDF を加熱するとタールなどの揮発分が蒸発し、600~700°C までの加熱で揮発分は 10% 以下となった。

一方、塩素濃度は、約 900°C までほとんど変化しなかった。さらに温度を上げて 950°C を越えると減少し始めたが、同時に固定炭素も減少し始めた。何度まで加熱するかの見極めが塩素濃度を管理する上で重要であると分かった。ただし、RDF 炭化物を水洗すれば、塩素濃度を約 1/3~1/4 に低下させられることが分かった。

また、RDF は長時間堆積あるいは多量に野積みすると、チョークのような形状を保持することができずに崩れて粉化するが、RDF 炭化物は適切な強度があるため、簡単に崩れることがなく、長時間、多量堆積が可能となった。

以上のように、RDF を炭化することで、3 つの課題が解決され、製鉄所で利用できる可能性が出てきた。そこで炭化物を実機で利用する確認実験を行なった。焼結機での利用実験結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 (a) に RDF を直接使用した時の湿式電気集塵機 (WEP)

3 実証炉と炭化物の分析結果

3.1 設備

ラボスケールでの炭化実験結果をスケールアップして実証するために RDF 炭化実証炉を建設し、実証実験を行った。RDF 炭化実証炉を Photo 1 に、炭化炉本体を Photo 2 に示し、本設備の仕様を Table 2 に示す。

3.2 運転実績

Fig. 4 に RDF 炭化実証炉の稼働実績を示す。本実証炉は 2000 年 5 月中旬より操業を開始し、順調に稼働している。6 月末現在、RDF 約 630 t を炭化処理した。

3.3 炭化物分析結果

3.3.1 RDF 炭化物の成分分析

(1) 発熱量変化

RDF を炭化処理する過程で、重量は Fig. 1 に示すように約 1/4 になった。Table 3 に RDF および RDF 炭化物の低位発熱量を示す。発熱量は、RDF に比べて約 1 割低い 16370 (3911) ~ 17810 kJ/kg (4255 kcal/kg) であり、ほぼ均質に熱量確保していた。

近い将来、容器包装リサイクル法が徹底整備されると、RDF



Photo 1 Demonstration plant of carbonized RDF

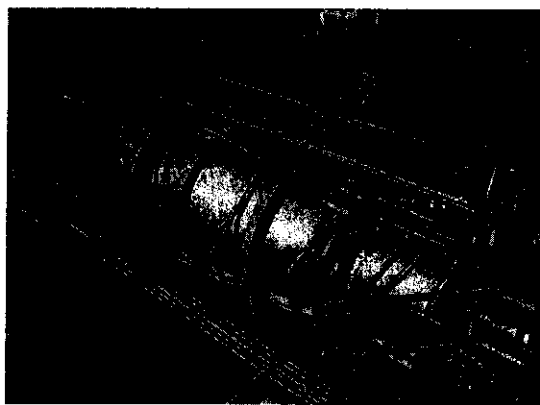


Photo 2 Carbonization furnace

Table 2 Specification of the demonstration plant

Plant capacity	RDF (raw material)	30 t/d
	Carbonized RDF	7.5 t/d
	Operation time	8~24 h/d
Storage capacity	RDF storage	30 t/d
	Carbonized RDF storage	10 t/d
Transportation	RDF	15 t-track
	Carbonized RDF	10 t-dump or continuous supply to PCI conveyer
Operation	Labor	Always one person
	Operation	Filling up RDF

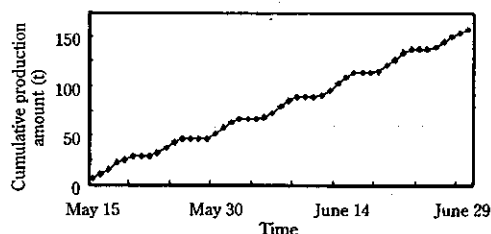


Fig. 4 Cumulative production amount of carbonized RDF

のプラスチック混入率が低下し、RDF のカロリーが低くなることが懸念されているが、RDF を炭化しても発熱量はほとんど変化しないので、RDF を炭化すれば低カロリー化の心配がなく、未来に対応したシステムといえる。

Table 3 Low-heat value

Item	(kJ/kg (kcal/kg))	
	Low-heat value	
RDF	18 300 (4 372)~18 914 (4 519)	
Carbonized RDF	16 370 (3 911)~17 810 (4 255)	

Table 4 Dioxins analysis

Temperature	DXNs	Co-PCBs		Total
	(pg/g)	(pg-TEQ/g)	(pg/g) (pg-TEQ/g)	(pg-TEQ/g)
600°C	27	0.000 0	1 900 0.220	0.220
700°C	27	0.036 0	2 900 0.029	0.065
800°C	31	0.001 2	8 700 0.100	0.100

Table 5 Dissolving test

Item	(mg/ℓ)		
	pH = 4	pH = 7	pH = 12
Cd	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	N.D.	N.D.	N.D.
Cr ⁶⁺	N.D.	N.D.	N.D.
As	N.D.	N.D.	N.D.
T-Hg	N.D.	N.D.	N.D.
Se	N.D.	0.005	N.D.
CN	N.D.	N.D.	N.D.
Organic P	N.D.	N.D.	N.D.
PCB	N.D.	N.D.	N.D.

Measuring method: Notification No. 13 of the environment agency
N.D.: Not detected

(2) ダイオキシン濃度

炭化物中のダイオキシン濃度を Table 4 に示す。最大 0.22 pg-TEQ/g と 1999 年の全国の土壌平均値 6.5 pg-TEQ/g³⁾ を大きく下回っている。環境庁の定める土壌基準値 1 000 pg-TEQ/g⁴⁾ と比較しても著しく低い値である。

3.3.2 溶出試験

1991 年環境庁告示第 46 号に準拠した溶出条件（試料と溶媒との重量堆積比は 10%）で行なった炭化物の溶出試験結果を Table 5 に示す。ただし、溶媒条件はあらゆる土壌環境に備えて pH4~12 で行なった。試料は、炭化炉温度 700°C で製造された RDF 炭化物を用いた。

本試験の結果、全溶出試験項目において基準値を十分満足していることを確認した。本方式により製造された RDF 炭化物は、土壌改良材などの土壌に関して、なんら問題ないことを確認した。

3.4 RDF 炭化物の利点

RDF を炭化処理することにより、次の三つの利点がある。

(1) マテリアルリサイクルへの活用

炭化実証炉は、高炉へ微粉炭を供給する pulverized coal injection system (PCI) に直結しており、RDF 炭化物を石炭の代替品として、現在、高炉に供給している。その他、石炭やコークスなどの固形化石燃料の代替品や、鉄鋼溶融時の加炭剤として添加する炭素源として、製鉄所内などで利用でき、マテリアルリサイクルが可能である。

(2) RDF の減容化

RDF は、重量比でごみの 1/2 となり、炭化物はさらに 1/4 となる。ごみからすると、RDF 炭化物は 1/8 への減容化となる。減容化によって、利用設備までのハンドリングコストを削

減できる。

(3) RDF の無臭化

RDF を長期間保存した時に湿気により腐敗して臭気を発することがあった。この RDF 臭気が、炭化処理によりまったくなくなった。従来、屋内でしか保存できなかった RDF の屋外保管が可能となる。

4 川崎製鉄の RDF 製造・炭化システム

炭化実証実験に基づき構築した川崎製鉄式 RDF 製造・炭化システムは、RDF 製造プロセスに RDF 炭化プロセスを付設することを基本システムとしている。そのシステムフロー図を Fig. 5 に示す。

4.1 RDF 製造プロセス

RDF 製造プロセスは、一般的に RMJ 方式と言われているもので、生活ごみを破碎、一次選別、乾燥、二次選別、消石灰添加、成形して RDF を製造する。ごみ乾燥は熱風乾燥方式を採用しており、約 600°C の燃焼排ガスで生ごみの水分を 50% から 10% 以下まで乾燥する。

本プロセスにより、生ごみは、径 10~15mmφ でチョークのような RDF となる。

4.2 RDF 炭化プロセス

RDF 炭化プロセスは、次の 3 つの設備からなっている。

(1) RDF 炭化炉設備

川崎製鉄式 RDF 炭化設備は、RDF を揺動式炭化炉に連続投入し、高温加熱する。RDF は、熱分解により「可燃性ガス」を主成分とする熱分解ガスと「RDF 炭化物」に分離される。熱分解ガスは二次燃焼室で完全燃焼され、RDF 炭化物は冷却後貯蔵設備を経て搬送される。

二次燃焼ガス中のダイオキシン類濃度は、0.1 ng-TEQ/Nm³ 以下を達成している。

(2) 排ガス熱回収設備

RDF 炭化プロセスでの二次燃焼ガスは、RDF 製造設備の排ガス処理に利用される。システム全体として熱回収がされている。

(a) 乾燥排ガスの脱臭熱源

二次燃焼ガスは温度が 1200°C 以上あるので、RDF 製造プロセスの乾燥排ガス中の悪臭物質を分解でき、臭気除去効率の高い脱臭炉として活用される。

(b) ごみ乾燥熱源

RDF 製造プロセスにおけるごみの乾燥は、約 600°C の熱風で行われる。乾燥排ガスは約 150°C に温度低下しているが、一部のガスを循環して熱風炉に戻しサーマルリサイクルしており、不足分を灯油で約 600°C にしている。この循環ガスを二次燃焼ガスと熱交換して、灯油使用量を削減する。

(3) 排ガス処理設備

熱回収された二次燃焼ガスは、最後に排ガス処理設備を通して浄化されて大気へ排出される。

4.3 川崎製鉄式 RDF 炭化設備またはプロセスの特徴

本炭化プロセスは、次の特徴を有している。

(1) 化石燃料をほとんど使用しない炭化装置である。

熱分解ガスの発生量が少ない立上げ時のみ、二次燃焼炉のヒートアップを灯油で行なう。それ以外の熱源は、RDF の熱分

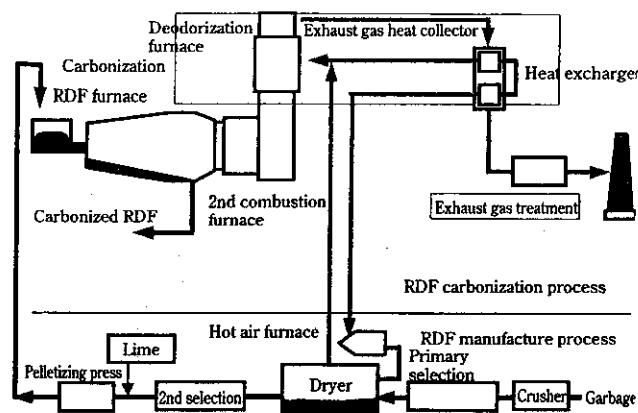


Fig. 5 Kawasaki Steel carbonization system

解ガスで確保する。

(2) 排ガスは、煤塵が少なく、低 Na、低 K、低 Cl、低ダイオキシン類である。

炭化炉は、炭化物が巻き上がらない程度に揺動運転するため、煤塵、アルカリ金属や塩素の飛散が少ない。低 Na、低 K、低 Cl の排ガスであるので、セラミック熱交換器などを使用することにより排ガス 600°C 以上の高温熱回収が可能である。熱分解ガスは高温で燃焼するため、ダイオキシン類濃度 0.002 ng-TEQ/Nm³ 以下である。

(3) 炉内は炉圧バランスを考慮した安全な炭化装置である。

熱分解ガスは、CO、H₂、メタン、エタン、エチレンなどの可燃ガスを主成分としている。これら可燃ガスの滞留や逆火が発生しないよう炉内圧力バランスを考慮した炉内設計構造および炉内負圧制御となっている。

(4) 高温での運転が容易である。

本炭化炉は、木質系炭化炉を RDF 専焼炭化炉として利用したものである。本方式は、高温での熱分解を行なうことが可能となるため、未炭化物がない。高温により揮発分を除去し、固定炭素のみで熱量確保した炭化物が製造される。また、熱分解ガスも 1000°C 以上で高温燃焼されるので、ダイオキシン類は完全に分解される。

(5) 排ガスをサーマルリサイクルしてランニングコスト削減する。

排ガス熱量をごみ乾燥用に熱回収できるので、従来使用していた灯油使用量を約 70% 削減できる。

(6) 臭気対策改善として乾燥排ガス脱臭炉を高温化できる。

ごみを乾燥した排ガスは、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、アセトアルデヒドなどの悪臭を多分に含んでいる。従来、灯油により 650°C 脱臭を行なってこれらの臭気成分を燃焼分解していたが、一部の悪臭成分が残存する場合もあった。熱分解ガス燃焼により 900~1200°C 脱臭を可能にしたので、完全に臭気成分を分解することができる。

5 RDF 炭化物の利用

炭化物の利用用途について、製鉄所内利用とその他利用に分けて以下に説明する。

5.1 製鉄所での利用技術

RDF 炭化物の高炉用途の概要を Fig. 6 に示す。RDF 炭化物は、

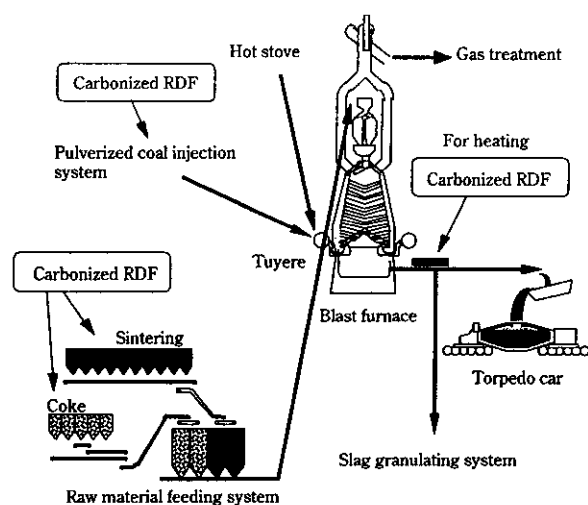


Fig. 6 Applications of carbonized RDF in ironmaking process

RDF を高温炭化処理して揮発分を積極的に除去したものであるから、コークスの代替品としての利用が可能となる。

各利用内容を以下に示す。

(1) 高炉への微粉炭吹込み (微粉炭代替)

鉄鉱石や焼結鉄をコークスによる還元反応で銑鉄 (Fe) をつくる高炉において、コークス源となる原料炭の代わりに、安価な一般炭での高炉での使用拡大を狙って導入された設備として微粉炭吹込み装置 (PCI 設備) がある。微粉炭 (通常 0.7 mm 以下) した石炭を熱風とともに羽口より吹き込む。現在、全稼働高炉で微粉炭吹込みが行われており、その微粉炭の代替として RDF 炭化物を利用する。

(2) 焼結設備への利用

粉鉱石の団塊法の一つである焼結設備は、粉鉱石を 1200~1300°C の半溶融状態にまで加熱し、再結晶や熔融などで粉鉱同士を結合され団塊化する。通常、粉鉱石に 3~5% の粉コークスを配合して焼結機に装入する。原料表面のコークスに点火し、下向きに空気を吸引することで、原料中の粉コークスが急速に燃焼して焼結が行われる。この粉コークスの代替として RDF 炭化物を利用する。

5.2 その他の利用について

RDF 炭化物の用途概要を Fig. 7 に示す。製鉄所で利用目的とされる炭素源の他に、RDF 炭化物の物理性能および化学性能により着目したさまざまな利用方法が検討されている。主なものとして、

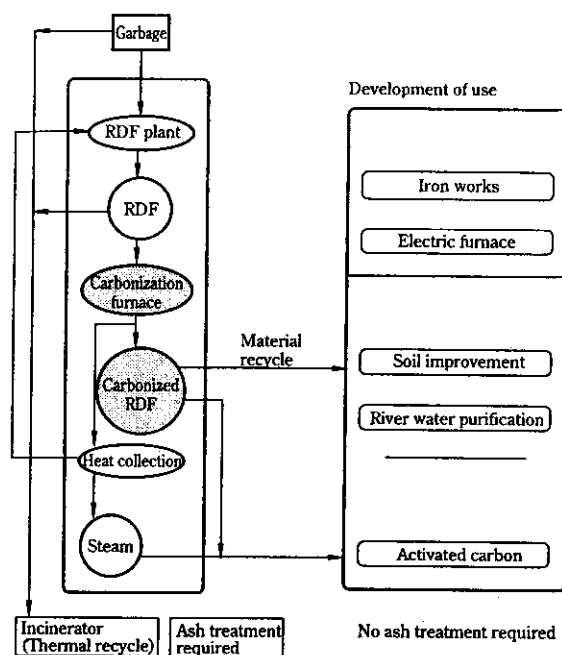


Fig. 7 Carbonized RDF use outline

吸着性能、保温性能、保水性能、通気性能などで、土壤改良材や河川浄化材としての利用が見込まれている。現在、実験確認中である。また、活性炭としての利用も検討されている。RDF から炭化、さらに賦活化して活性炭を製造し、廃棄物利用する研究も進められている。RDF から製造した活性炭は、ダイオキシン吸着除去に十分適用可能という興味深い報告⁹⁾もあり、今後の研究成果が期待される。

6 結 言

一般ごみの RDF 化プロセスは、循環型社会形成において必要なシステムである。しかし、用途確保が不十分であることが施設増加の足かせとなっている。

今回、RDF 用途拡大のため、新たな用途開発として RDF 炭化物への取組みを紹介した。RDF を炭化すると、製鉄所において、微粉炭やコークス代替としてマテリアルリサイクル利用が可能になり、RDF を枯渇資源代替として用途開発できた。本炭化物は、さらに、吸着性、保温性、保水性、通気性などの性能が優れており、土壤改良材、河川浄化材、活性炭としての利用が見込まれている。RDF 普及のために、これらの利用確立が必要である。

参 考 文 献

- 1) 佐藤明宗, 吉田鉄男, 木暮寛而: 川崎製鉄技報, 27(1995)1, 55-56
- 2) 吉田鉄男: 「RDF の新しい利用方法—川鉄式 RDF 炭化システムの紹介」, 環境計画センター主催「新技術発表会」要旨集, (2000) May
- 3) 環境庁ホームページ: <http://www.eic.or.jp/eanet/>
- 4) 環境庁告示第六十八号, 平成 12 年 1 月 15 日
- 5) 田門 肇: 「廃棄物を原料とした活性炭の製造と用途開発」, (株)技術情報センター主催講演論文集, (2000) Jun.