

第5章 資源としての石炭灰に望まれる有効利用システムへの提言

5.1 有効利用先拡大への取組み

1991年（平成3年）には「資源有効利用促進法（リサイクル法）」が制定され、電気事業の石炭灰は利用促進をすべき指定副産物に定められた。リサイクル法において、指定副産物となった石炭灰は排出者である電力会社が速やかに有効利用技術を開発し、リサイクルの推進に努めるべきであることを意味するものである。さらに2003年3月（平成15年）には、循環型社会形成推進基本計画が発表され、産官学の総力を結集した具体的な循環型社会形成のための取組みが本格的に望まれる時代において、リサイクル法の指定副産物とされている石炭灰の発生元である電力各社は、石炭灰の更なるリサイクル推進に邁進する努力がより一層求められている。

1887年に東京日本橋に石炭火力発電所が建設され、1949年（昭和24年）に米国でセメント混和材としての実用化が発表され、日本でも1958年にはJIS A 6201「フライアッシュ」が、1960年にJIS R 5213「フライアッシュセメント」がそれぞれ制定され、その後使用範囲が広がり、1974年にコンクリート用混和材としてフライアッシュがJIS A 6201にJIS化され、技術的認知度の高いコンクリート用混和材としてJIS灰がダムコンクリートなどの分野で活用されてきた。

さらに1975年頃（昭和50年）より、全国的な公害対策の強化に伴う、粘土採取源の代替・延命化という課題に直面していたセメント産業のニーズと石炭灰処分場不足にあった都市型石炭火力において粘土代替材としての有効利用法が確立し、1980年代の大型の石炭火力発電所が建設されはじめて以降、図-5.1.1に示すように主にセメントの原材料として活用されてきた。

このような経緯のため、ダム等のプロジェクト、工場等による利用といった利用先が主体であり、広く一般的な公共事業等で活用されるに至っていないなど、石炭灰のさらなるリサイクル推進に邁進するためには、近年電力会社が主体となって開発・実用化され始めている建設材料を中心とした各種石炭灰有効利用技術も含め、電力会社が実用化技術の活用と普及を目指した新たな積極的な取組み姿勢が問われてきており、1990年代後半から建設資材への取組みが加速されてきた。

このような背景の中、電力会社には、実用化技術開発とその活用のために、より具体的でかつ現実的なアプローチによる新たな積極的な取組み姿勢が求められており、以下に示すような課題の克服が問われ、またその解決が求められている。

技術開発に関する課題

今後の石炭灰有効利用技術の開発においては、公共工事等の社会資本整備におけるさらなるコスト縮減に寄与できる技術や費用対効果を生み出すことのできる高付加価値技術などユーザー側に利用することのインセンティブを付与できる技術が求め

られている。これまでの技術開発において、電力が培ってきた石炭灰活用技術を活かし、ユーザーである官庁と相互理解を得られる実用化技術の開発が求められる。

技術の市場定着に関する課題

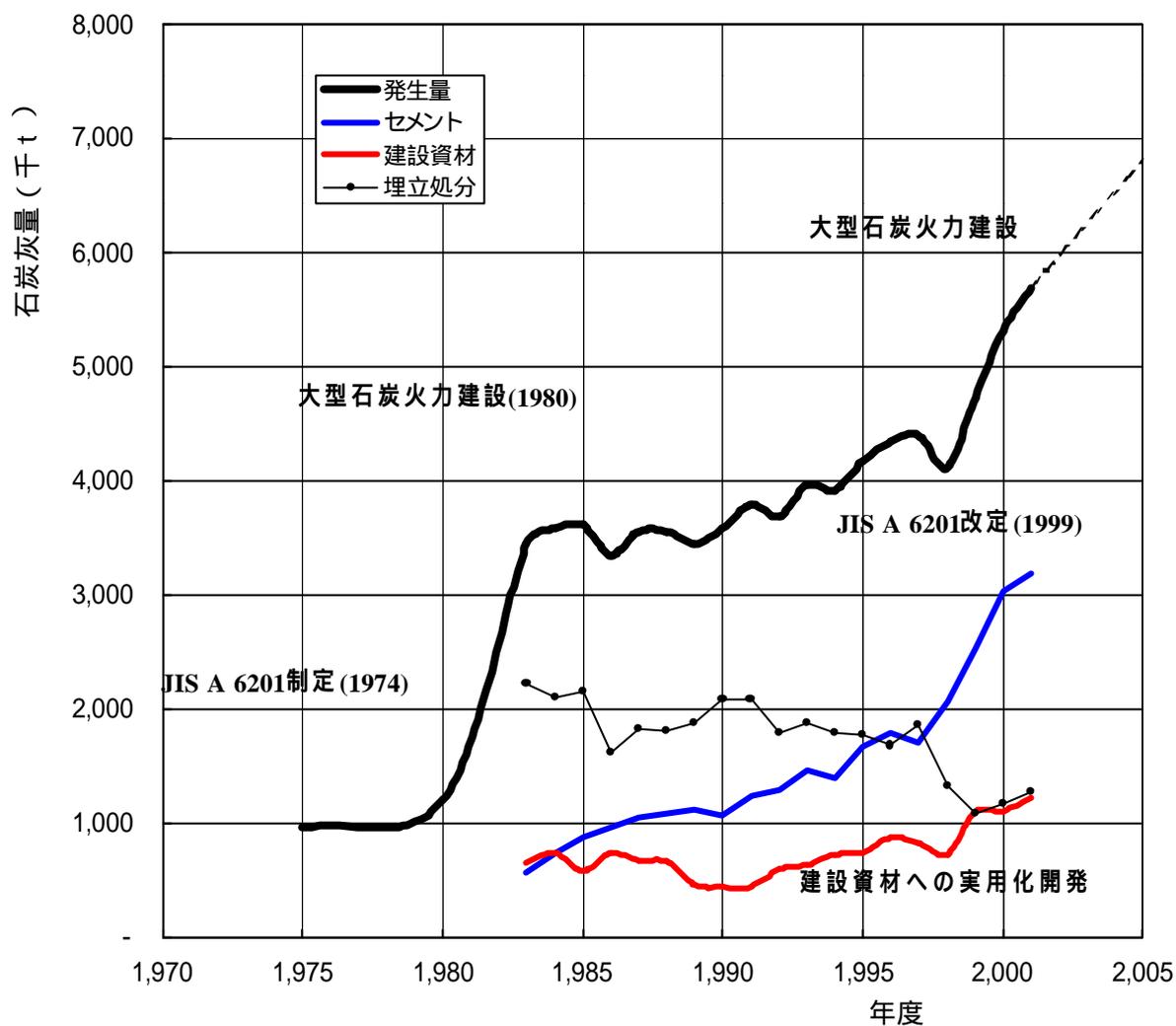
公共の社会資本整備工事において本採用され、採用後も使い続けられるよう市場に定着していくためには、技術のフォロー体制、品質や安全性に関わる保証体制の整備が必要であり、採用技術に応じて開発者や電力会社がこれら体制整備も構築して、石炭灰活用技術を市場定着させることが求められる。

安定供給に関する課題

建設材料として、市場性確保のための安定供給体制が望まれている。これまで、石炭火力発電所の地域偏在が安定供給体制構築を阻害してきた一面があるが、全国的に偏在が解消されてきている中、今後は販売主体・管理体制・安定供給体制を市場性確保・定着を主眼に再整理・再構築することが必要となってくる。

現在、電力各社はこのような課題解決に積極的に取り組んでおり、利用者側に受け入れられる技術の開発、市場定着のための品質・安全性確保、安定供給の3本柱の解決に向けた努力を行ってきており、図 - 5.1.1 に示すとおり建設資材への活用量も緩やかにではあるが、着実に増加してきつつある現状となっている。

このような取り組みによって、石炭灰の建設材料としての信頼性・安定性が得られた上で、利用者側との相互理解が生まれ、この信頼をもとに利用者側も石炭灰の活用を推進する体制となることが期待される。また、この取り組みを通じ、将来増加が予想される石炭灰の有効利用推進が期待されるところである。



*: 1982以前のデータは、発電電力量¹⁾からの推定値

*: 1983~2001のデータは、電力会社の石炭灰発生量集計値

*: 2001以降のデータは、電力各社の需要予測からの推定値

図 - 5.1.1 電力会社の石炭灰有効利用の変遷

5.2 新たな有効利用システムの確立に向けて

5.2.1 品質・安全性および供給に関する取組み

現在、電力各社は、建設材料への有効活用拡大という課題解決に向けて一層責任ある取組みを続けている。

技術開発については、既に第3章に示したように実用化を前提とした技術開発が電力主導で多数行われてきており、これらの技術は、第2章に示したとおり利用者側の価格的な優位性、コストパフォーマンスを満足する技術であり、社会資本整備に石炭灰を活用することにより地域貢献とリサイクル推進を両立させることができるものに傾きつつある。この他、実用化を目の前にした低コストで高付加価値を持つ製品等の技術開発も多数行われ、その成果が着々と上がっていることなど、今日の電力主導の技術開発は、実用化を前提としてその取組みが着々と進んでいると言える。

品質や安全性の保証については、電力会社本体或いはグループ会社全体など各電力によりその体制や手法は異なるが、既に電力各社が責任を持った姿勢が整いつつある。この保証は、利用する技術に応じて発生する石炭灰の品質・安全性を保証する場合、石炭灰活用技術を含めた仕上り品質・安全性を保証する場合がある。これらの違いはあるものの、製品として必要な品質と安全性は電力各社またはそのグループにより保証されつつあると言える。やがて、これらの技術が電力会社の手を離れ、発注者である行政自らが活用する技術となり、その品質確保も行政の手によって行われていくこととなる。しかし、電力会社は、その後も材料供給者としての安全性に対する保証を怠ることなく続けていく必要があり、現行の保証体制や取組みを更に充実させていく必要がある。仕上がり品質の確保という観点においても、行政の手に委ねる日がくるまで、電力は責任を持ってその品質確保に取り組む必要があり、また行政と共に改良を加えてより良い技術として行く体制を整えていく必要がある。現状においても、表-5.2.1に示すように、これまで利用者と発生者が共同で開発・活用を行ってきた事例は多数あり、この事例が継続的に行われ、石炭灰活用技術の品質を理解していくための取組みを進めることが、行政における建設事業への石炭灰活用を推し進めていくことになると考える。

第4章の最近の取組みで紹介したように、一部の地域では各種技術を網羅する完全な保証体制が整うなど、有効活用拡大に伴う品質・安全性の保証体制が構築されたところもあるが、これらの体制の再構築・整備を近い将来全国で進展できるよう電力大で検討を進めており、その体制を全国大で整えて行く予定である。

安定供給については、各電力の供給区域ごとにその体制は整いつつあり、現時点で石炭灰発生量約100万t/年が既に建設資材として全国で活用されている体制となっている。

今後、建設資材への有効利用量拡大に向けて電力各社としては第4章で示したような供給体制の整備と価格面の優位性確保に取り組んでいく必要がある。

表 - 5.2.1 公共と電力の共同での取組み事例

区分	技術内容	公共団体	電力会社
共同特許 出願	石炭灰を使った水中硬化体の開発	北海道開発局	北海道電力
	石炭灰砂を添加した耐流動性アスファルト舗装材	建設省東北地方建設局	東北電力
	石炭灰に石灰・石膏を混合固化、破碎して砕石を製造する技術	石炭総合利用センター	東京・関西・北海道・電源開発
	石炭灰を使った路床改良施工システム	建設省中国地方建設局	中国電力
	分級フライアッシュを使用した転圧舗装コンクリート	港湾空港技術研究所	四国電力
	フライアッシュ、クリンカアッシュ、粒状硬質材、結合材としてセメントを用いる路盤材	福井県	北陸電力
マニュアル・ガイドライン	港湾工事石炭灰利用マニュアル	北海道開発局	北海道電力
	道路盛土における石炭灰と建設発生土利用ガイドライン	建設省東北地方建設局	東北電力
	石炭灰を使った固化処理マニュアル	国交省中国地方整備局	中国電力
	フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針(案)	土木学会四国支部	四国電力
	FGC 深層混合処理工法技術マニュアル	(財)沿岸開発技術センター	電源開発
	マウンド漁場造成事業に係る技術マニュアル	(社)マリノフォーラム 21	電発コール・テックアンドマリン
共同研究 開発	分級フライアッシュの港湾構造物への適用性研究(RCCP、海洋・海岸コンクリート)	港湾空港技術研究所	四国電力
	石炭灰の道路土工材への適用性に関する研究	建設省土木研究所	電源開発
委員会等	石炭灰高度化利用検討委員会	北海道開発土木研究所	北海道電力
	北海道循環資源利用促進協議会(石炭灰等の循環的利用に係る協議及び具体的な取組み)	北海道、札幌市、室蘭市、北海道開発局、北海道開発土木研究所	北海道電力
	ゼロエミッション社会を目指す技術開発委員会(クリンカアッシュを用いた土壌改良材の開発)	東北地方整備局	東北電力
	SCP への石炭灰固化物利用技術検討委員会	沿岸環境開発資源利用センター	中部電力
	石炭灰の有効利用に関する委員会	建設省中国地方建設局	中国電力
	石炭灰有効利用検討委員会	建設省中国地方建設局(浜田工事事務所)	中国電力
	四国における石炭灰のコンクリートへの適用性に関する調査研究委員会	土木学会四国支部、国交省、JH、徳島県、愛媛県、高知県、香川県	四国電力
	港湾工事における FGC 利用軟弱地盤改良工法の開発に関する検討委員会	(財)沿岸開発技術研究センター	電源開発
	沖縄における石炭灰利用検討会	沖縄総合事務局	沖縄電力 電源開発
	石炭灰有効利用懇話会	沖縄総合事務局	沖縄電力 電源開発
	建設用骨材に関する情報交換会	徳島県	四国電力 電源開発
	骨材対策WG	愛媛県	四国電力
	廃棄物のリサイクルに関する調査研究委員会	愛媛県	四国電力

5.2.2 利用者の取り組み

(1) これからの循環型社会のめざすべき方向

持続的な発展を指向する「循環型社会」という考えが提起され、この実現に向けた循環型社会形成推進基本法（循環基本法）が平成12年6月に制定された。

また、この循環基本法と一体的に、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」が改正され、「資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法：再生資源の利用の促進に関する法律の改正）」、「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）」、「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）」、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）」が成立した。

さらに、平成14年7月には「使用済自動車の再資源化等に関する法律（自動車リサイクル法）」が成立し、既存の「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）」、「特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）」などと併せて、循環型社会の形成に向けた取組を推進する法的基盤が整備されつつある。

以上のような現状の中で、総物質投入量・資源採取量・廃棄物等発生量・エネルギー消費量の抑制（リデュース）、再使用（リユース）、再生利用（リサイクル）の適切な推進を図り、天然資源の消費の抑制と環境負荷の低減を目指した取組を本格的に進める必要がある。さらに、必要以上の資源採取をしないことや採取方法の工夫などを通じて、隠れたフローを低減していく必要がある。

(2) 公共事業における他産業リサイクル材の活用

建設副産物のみならず他産業からの産業廃棄物についても、処分場の逼迫や処分費の高騰を背景に、そのほとんどが土木材料への適用性を模索しており、各種の再生資材の開発や新しい利用法の検討が活発に行われている。

例えば、地盤材料への適用に限ってみても、以下のような多種・多様な再生材料の検討がなされつつある。

- 1) 石炭灰（石炭灰・石膏・石灰系複合材料、石炭灰・石膏・セメント系複合材料など）
- 2) 廃プラスチック（複合地盤材料など）
- 3) 廃ガラス（軽量盛土材、骨材の代替など）
- 4) 焼却灰（地盤改良材、埋戻し材など）
- 5) 鉄鋼スラグ（地盤改良材、砂の代替、埋戻し材など）
- 6) 廃タイヤ（軽量盛土材、法面保護材など）
- 7) 紙くず（土壌改良材、油吸着材など）
- 8) 木くず（土壌改良材など）
- 9) 廃棄発泡スチロール（軽量盛土材など）

公共事業においては、建設分野以外からの廃棄物についても、製品内でのリサイクルが困難なものについては、産業間の連携による資源循環型システムの形成の観点から、建設

分野での利用を可能な限り図っていく方針である。

(3)利用者として留意すべき点

その際、利用者として留意すべき点は、対象とするリサイクルシステムや技術を次のような観点からきちんと評価しておくことである。すなわち、1)環境負荷低減効果、2)環境安全性、3)品質保証体制の観点から十分に信頼でき、4)経済性の観点からみてもトータルな社会的費用を小さくできるかどうかが重要である。

この点は、政府閣議で決定された「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」を受けて、平成13年度から国土交通省が推進している公共工事におけるグリーン調達の推進においても同様である。

すなわち、公共工事における特定調達品目（平成14年度現在で、建設汚泥から再生した処理土、再生加熱アスファルト混合物、コンクリート再生骨材、コンクリート用スラグ骨材、鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物・路盤材、間伐材、高炉セメント、フライアッシュセメントなどの資材や、排出ガス対策型・低騒音型の建設機械など28品目）を選定し、国等の公的部門における調達の推進を図っているところであるが、その選定の基本的な考え方は、次のとおりである。

環境負荷低減効果がデータ等により客観的に認められるもの

普及の促進が見込まれるもの（既に十分に普及し、通常品になっているものは除く）
品質確保（安全性、耐久性等）が確実なもの（公的基準を満足または準拠すること、公共工事における使用実績が十分にあり、実際での検証・評価が十分になされていること）

コストが適正と判断されるもの（コストが通常品に比べ著しく高いものは除く、現在割高なものは、普及とともに比較対象品と同程度になることが見込めるもの）

以上のようなことから、これからの循環型社会においては、公共事業における他産業リサイクル材の活用が一層推進される方向にあるが、利用者としては、推奨できる有効利用システムや技術を選定するための透明性のある評価軸を明らかにし、選定した技術を積極的に活用していくことが求められている。

同時に、発生者には、利用者の評価に耐える実績や資料を整える努力を一層期待したい。

5.2.3 発生者と利用者の相互理解

このような発生者である電力会社の取り組みを礎として、石炭灰の利用者である行政との相互理解において最も重要なことは、有効活用が本当に行われていくために相互が話し合い、お互いの立場を理解・尊重することである。この相互の検討課題は、表-5.2.3に集約されるそれぞれの課題を解決すると共に、相互の立場を十分に理解して行うことが今後の課題解決につながっていくこととなる。

表 - 5.2.3 相互理解のための課題

項目	発生者側の課題	利用者側の課題
技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低コストでの活用技術開発 ・ 石炭灰活用技術のマニュアル化 ・ 特許等の技術公開、技術指導 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石炭灰活用技術の理解 ・ 特許の認知と技術の積極的活用
品質	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石炭灰の品質確保 ・ 石炭灰活用技術の品質保証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 品質の理解
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性管理体制 ・ 安全性確保体制 ・ 自主基準化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自主基準の理解
供給等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石炭灰の材料としての認知度向上 ・ 一般へのコマース化 ・ 安定供給、広域融通 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料として理解の努力 ・ 環境コスト等の概念の組み込み

5.2.4 新たな有効利用システムに向けて

石炭灰の新たな有効利用システムの構築に向けて、建設材料への活用へのシフトを考えるためには、石炭灰の有効利用のあるべき姿が必要となる。

セメント原料への活用は、これまで述べてきたとおり、将来的にはその利用量や価格などの問題を含んでいる。しかしながら、セメント工場と発電所との位置的な優位性や、有効利用量の変動が少ないなど安定した有効利用先であることに変わりない。

公共事業などの建設資材への活用においては、近年の公共事業における必要性や在り方の見直しによる事業費の低減などの問題や、使用量の場所的・時期的な変動などの問題もあるが、今後の主力となり得る有効利用先である。

石炭灰の有効利用先のあるべき

姿としては、これらの有効利用先がベストミックスされた姿が求められることとなり、今後も石炭灰量の増加が予想される中、現状における将来像としては図 - 5.2.1 に示すような姿が考えられる。

この図は、近年の石炭灰利用状況の動向を示すものであり、意味するところは、「現状（セメント原料 約 50% > 建設材料等への利用、埋立処分 50% 以下）」から、循環型社会形成に資する姿として

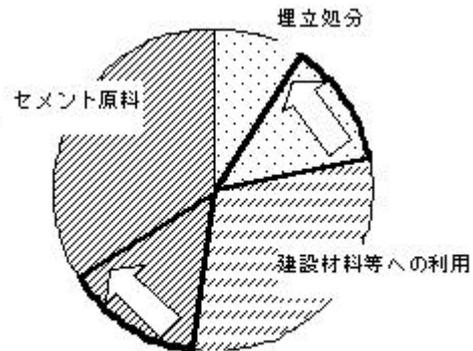


図 - 5.2.1 将来の石炭灰有効利用像

「将来（建設材料等への利用 50%超 セメント原料+土地造成への利用 約30%埋立処分 約10%前後）」

としていこうとする電力全体の目標を示すものである。

この目標は、公共工事費縮減効果に加え、循環型社会形成および基本計画に対して、以下のような貢献を果たすことを期待するものである。

- 1)埋立処分は、有効利用需要の変動吸収（正月等）、品質不適合材など、最低限の処分量まで可能な限り縮減することで廃棄物の最終処分量低減に寄与、つまりリデュースを更に促進することが期待される。
- 2)セメント原料への利用率減少は、石炭灰のセメント原料への占有率を減じることにより、セメント産業の各種廃棄物・焼却灰の処理余力を創出し、廃棄物処理全体における最終処分量低減と経済性を高める、つまり廃棄物全体のリサイクル社会構築に寄与することに繋がることを期待される。
- 3)建設材料等への利用の増加は、天然資源消費抑制による資源生産性の向上および天然資源採取に伴うCO₂発生の省略という効果も期待される。

このようなビジョンにおいて、それぞれの率および量は、石炭灰発生量・セメント生産量など将来の動向とともに変動することが予想されるが、このビジョンの達成に向けて、電力業界が一体となって取り組み、公共の理解を得ていくことが重要であるものとする。

今後は社会資本整備の建設材料としての活用を重点をおいた取り組みが必要となるが、次の課題解決に向けた産官一体となったシステム作りの構築を進める必要がある。

電力側の取り組みとして、前述してきたとおり社会資本整備に寄与できる体制作りと安定供給体制の整備が必要である。

公共側の取り組みとして、社会資本整備の建設材料としてそのベースとなる部分への活用と石炭灰の資材としての価値観の構築が必要である。

5.3 循環型社会における石炭灰有効利用システム

5.3.1 循環型社会に合致した石炭灰有効利用システム

循環型社会において、電力業界から発生する石炭灰を「再生資源」として、大量活用することのできる土木・建築分野や農業水産分野等へ有効利用することは、まさに天然資源の消費抑制と環境負荷低減を目的とした社会の取り組みに合致するものである。この石炭灰の有効利用を推進するためには、まずは発生者の有効利用に向けた積極的な技術開発・供給体制の整備およびPRが必要であり、合わせて、ユーザーとの共同の取り組みによる活用が必要となる。一方ではユーザー側のリサイクル促進の目標となる「グリーン購入法」等の再生資源品の利用を促進させる合理的な仕組みを活用することなども重要である。これらの体制が整備されれば、発生者である電力業界の取り組みも一層促進される他、行政によるリサイクル社会形成の主旨を全うすることができ、リサイクルを理解・認識した上で利用者も石炭灰の利用を容易に行われるものと考えられ、社会全体で石炭灰のリサイクルが促進されることが期待できる。

上記のことを踏まえ、循環型社会における石炭灰有効利用システムの方策の全容として図 - 5.3.1 に示すイメージとなる。

基本は、発生者と利用者および行政が連携を持ち、以下に示す共通認識のもと石炭灰のリサイクル推進を図ることである。

- 1) 石炭灰は「再生資源」であり、天然資源消費抑制および環境負荷低減に寄与できる有用資源であり、全国で入手が可能な材料である。
- 2) 石炭灰の活用により、リサイクルの推進はもとより、公共事業のコスト縮減を図る努力を行っていく。
- 3) この取り組みを通じ、石炭灰の資源としての有用性を認識し、広く社会に向けてPRを推進する。
- 4) 廃棄物から資源へ、循環型社会のモデルケースとして、産官が一体となった石炭灰リサイクル社会構築を図り、活用のための法整備に取り組む。

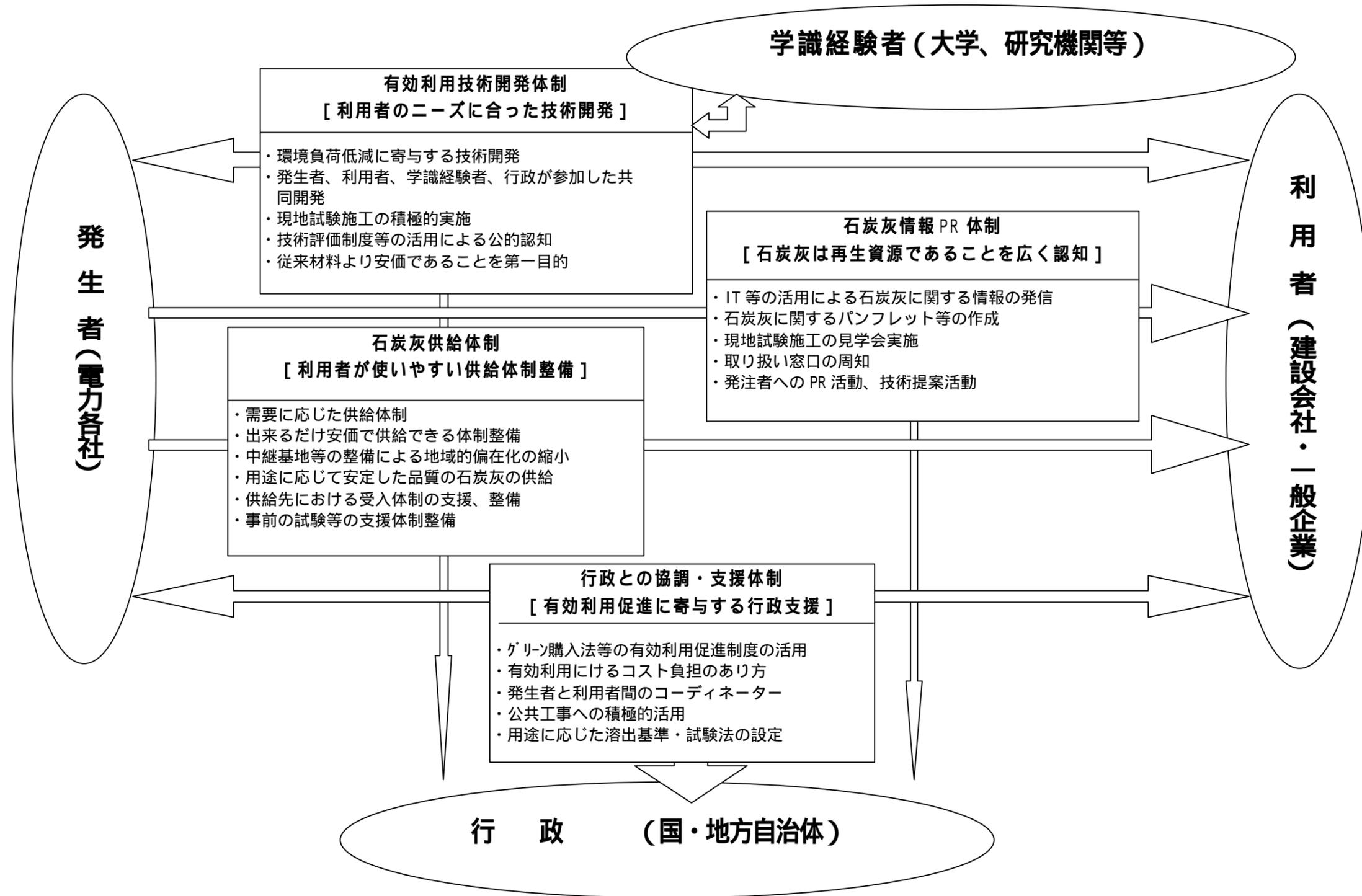


図-5.3.1 循環型社会における石炭灰利用システムのイメージ

5.3.2 石炭灰有効利用システムがもたらす効果

前述の有効利用システムの方策により、もたらされる効果としては、既に第2章において示したが、ここで再掲し、総括すれば以下のとおりである。

1) 循環型社会形成推進への寄与

石炭灰最終処分量の縮減

資源生産性向上・循環利用量の増大

他産業廃棄物のリサイクル促進

セメント産業の廃棄物処理余力創出

2) 建設工事費縮減

3) 建設工事に伴うCO₂削減

4) 天然資源消費抑制

5) 今後新たに期待される効果としての食料増産事業への寄与および環境浄化事業への寄与

参考文献（第5章）

1) 資源エネルギー庁ホームページ