

第4章 石炭灰の品質保証および供給体制の現状と課題

現在、石炭灰は第2章、第3章で述べたごとく、幅広い分野で利用あるいは利用技術が開発されており、用途に応じた品質や量などユーザーのニーズに応じた流通拡大に向けた取り組みが各電力会社で行われている。

石炭火力発電所は図-4.1.1に示すように、北海道から沖縄まで全国的にほぼ一様に分布している。しかしながら、地域的には若干偏在しており、後述する、発電所連携、事業者間連携なども実施しているが、供給量の地域間アンバランスに伴う供給安定性の制約と輸送コストの多寡による出荷エリアの制約が完全に解消されていないのが現状である。

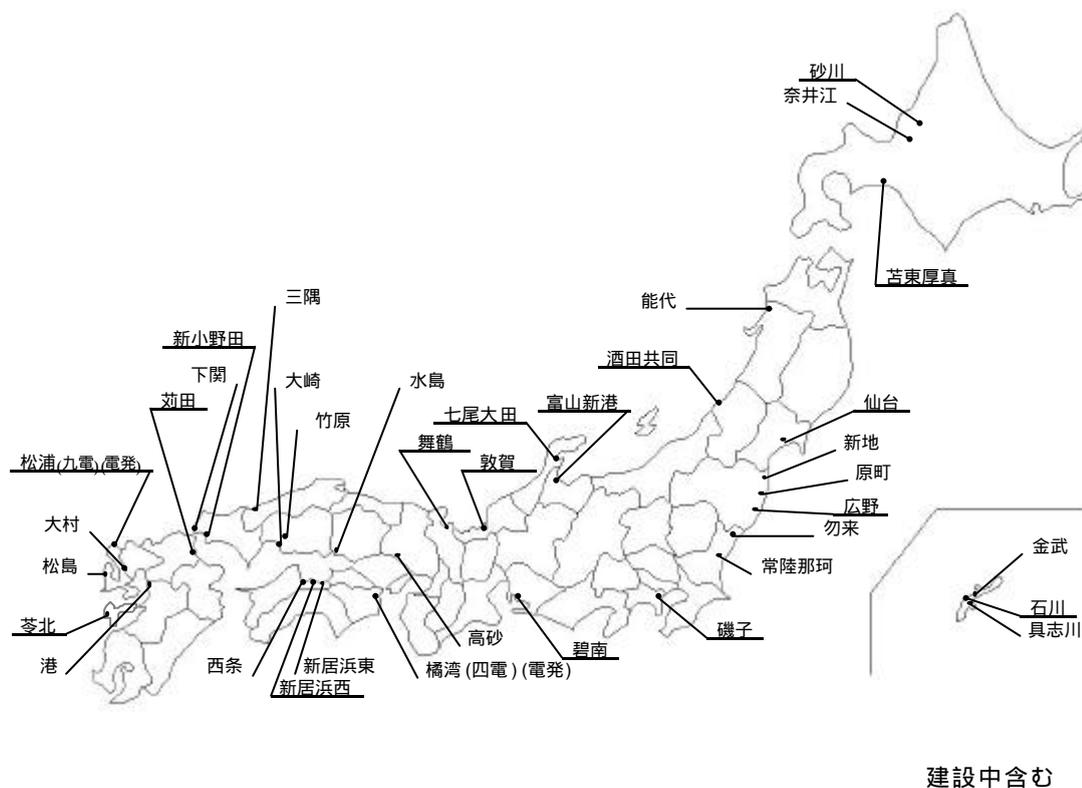


図 - 4.1.1 石炭火力発電所の分布図

これらの発電所から生産(発生)される石炭灰量を地域毎に示すと図 - 4.1.2 のとおりであるが、関東地区および関西地区の2大主要地域の生産(発生)量が他の地区と比べて相当少ないことが分かる。

1章、2章において石炭灰の発生量、分野別有効利用量等について記載したが、電気事業の石炭灰について分野別ではなく、供給・受入先、受入条件の観点から概略として分類・推定した結果を表 - 4.1.1 に示す。

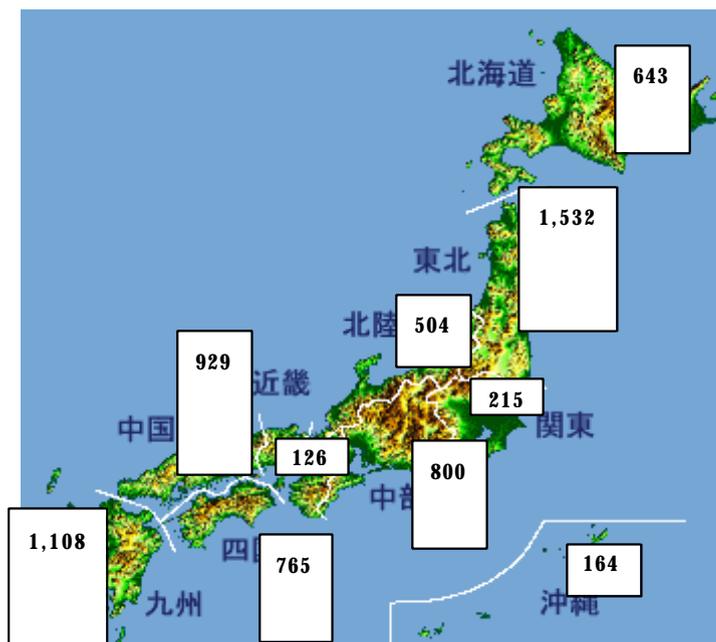


図 4.1.2 石炭灰発生量の地域分布 (千t)

表 - 4.1.1 石炭灰の供給・受入先別分類¹⁾

	特定供給・受入先				不特定供給・受入先
	最終処分場	セメント会社	各種工場等	電力工事等	一般工事用等
数量 (万t)	150	375	39	72	42
構成比 (%)	22	55	6	11	6
	94				6

セメント会社：セメント原料、セメント混合材（フライアッシュセメント）

各種工場等：コンクリート混和材、コンクリート二次製品、建材ボード、肥料等

電力工事等：電力自社利用、炭坑復元、土地造成等

一般工事用等：地盤改良、路盤材料、土壌改良材等

（平成13年度実績：日本フライアッシュ協会資料を基に再整理）

表 - 4.1.1 より、従来の石炭灰の供給・受入先は、90%超が中長期的に固定した場所あるいは電力工事・ダム等のように工事の計画時点より需要想定可能であり、供給体制準備を組み易い供給先が主体となっている。さらに、供給・受入先における品質上の条件が必要な場合は、JIS規格による物理・工学的条件が大半であり、土壌に接する観点等より環境安全性に関する品質条件が必要なものは数%以下にとどまっていると推定できる。

しかしながら、3章で述べたような技術により今後、従来以上の有効利用拡大（最終処分量の縮減およびセメント原料への有効利用依存を回避）を図っていくためには、一般的な建設工事等（新規ユーザー）において、従来のJIS規格品にとどまらず、広く、石炭灰有効利用が普及・拡大していく必要があり、品質保証体制もJIS品質保証のみならず石炭灰の品質変動に対して、影響を受けない利用形態や活用後の品質確保のための評価・管理手法の確立、環境安全性に関する品質保証も必要となっていくとともに供給先への対応も特定のユーザーではなく、不特定のユーザーに対応できていく必要がある。

4.1 品質保証体制

4.1.1 現状と課題

石炭灰が建設資材等として広く一般に普及拡大していくための前提にあるのは、石炭灰の品質保証体制の確立である。

石炭灰をフライアッシュセメント、コンクリート用混和材として利用する場合の品質保証については、公的規格としての J I S が 1958 年（昭和 33 年）に制定され、当時から、ダム建設をはじめとする各種工事に利用されてくる中で、発電所（電力関係会社を含む）における J I S 規格の品質保証体制は十分確立し、実績がある。

これら J I S 品としての石炭灰は、混合セメント用原料、コンクリート用混和材としてのものであり、第 1 章に述べたように土壌環境基準では、これら用途に対しては、重金属の環境溶出基準への適合を求められていないように、品質保証においては環境安全性に対する保証については、ほとんど実施されていない。

しかしながら、今後、期待される新規ユーザーによる有効利用の普及・拡大の進展においては、混合セメント用原料、コンクリート用混和材としての利用にとどまらず、3 章にあるような各種技術により公共事業等の建設資材として広く利用されることが必要であり、これらの用途は、土壌環境基準に代表されるような各種環境溶出に関する安全性に対しても安全であることが求められる用途が多い。

このため、J I S 品に代表される物理・工学的品質保証体制に加え、環境安全性に対する品質保証体制を構築することが必要である。

4.1.2 品質保証体制の確立に向けて

発電所における品質保証体制は、J I S 規格に対する品質保証体制であり、物理・工学的品質保証については、確立しているといえるが、環境安全性に対する保証については、整備が始まっているというのが現状である。

各電力において整備が始まっている、J I S 規格に対する品質保証と環境安全性の品質保証も含めた品質保証体制について石炭灰有効活用拡大に向けた品質保証体制として、現状と将来的なイメージを図 4.1.3 に示す。

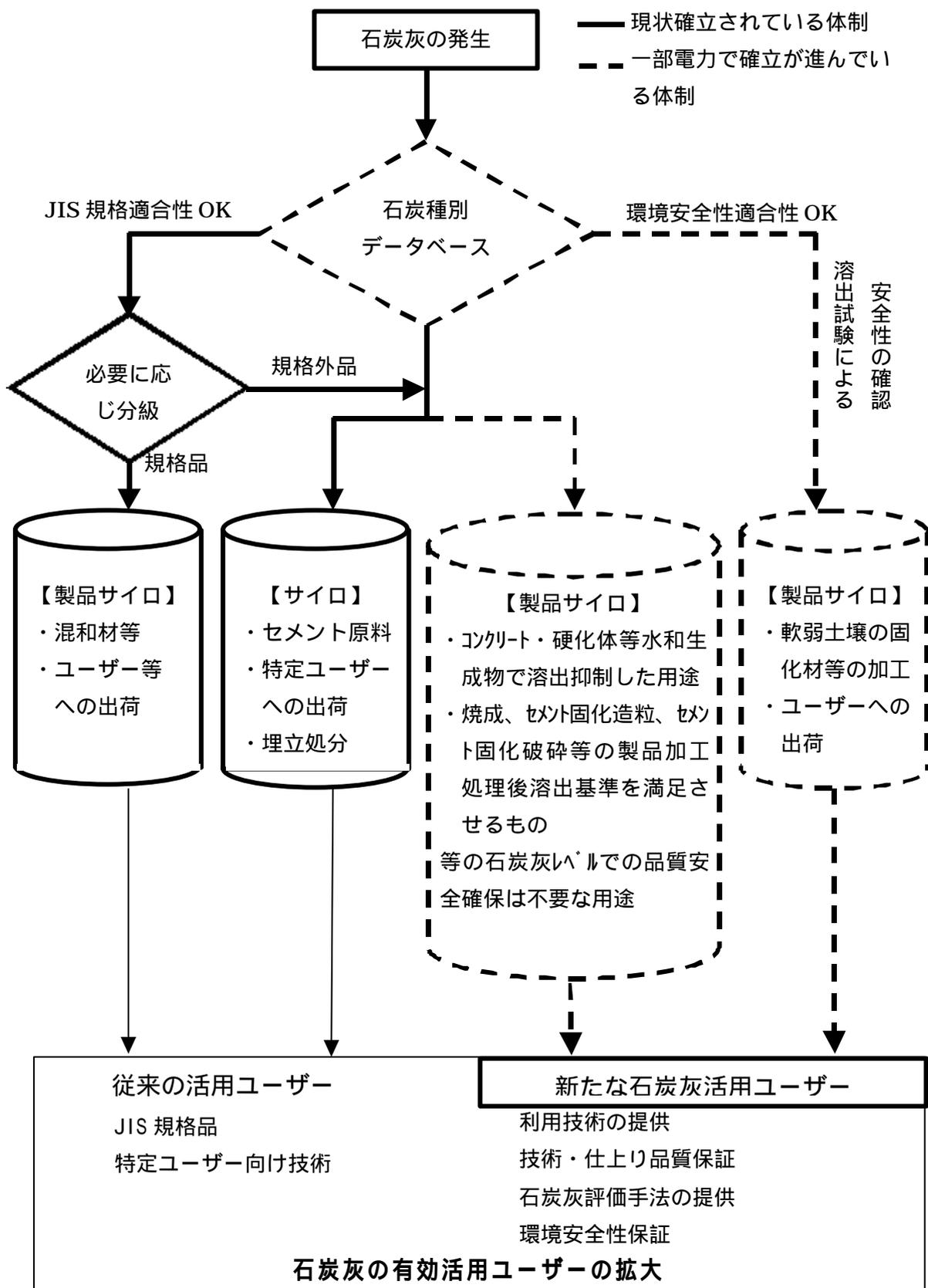


図 - 4.1.3 石炭灰有効活用拡大に向けた品質保証体制

図 - 4.1.3 のように、現在までに確立している実線で示した品質保証フローに加え、今後は破線で示す品質保証フローが整備され、かつ、供給体制と整合することにより、3章で示した各種建設資材用途に対する品質保証も含めた供給体制が確立される。

なお、品質保証体制の構築とは別に、具体的な品質・安全性評価に関して、現状、以下のような課題がある。

(1)物理・工学的品質

3章で示した各種技術は、石炭灰の物理・工学的バラツキがJ I S品の規格範囲を超えても施工後品質に与える影響がないように施工法・用途等に工夫がなされ、また施工後の品質確保のための評価・管理手法が確立されており、発電所から発生した状態のまま（原粉）で利用できる技術が多い。しかしながら、用途に応じて、バラツキの範囲・上下限值等を規定する必要がある場合は、その規定について検討する必要もある。一方、J I S品のように粉末度の均一性確保、上下限値の設定に対応するために分級を行へば、コスト的には増加することになり、また、均一性確保を目的に分級は行わないもののブレディングすることによってもコスト増に繋がるものである。このため、利用用途・利用技術・完成品の要求品質に応じて石炭灰の品質の設定項目・許容範囲を適切に定めることも重要である。

(2)環境安全性評価のための試験法

重金属の溶出試験は、溶出操作で抽出した検液（例えば：対象物を試料液に満たし、浸出した試料液）に含まれる重金属濃度を測定するものである。石炭灰有効利用のうち地盤改良分野などにおいては、改良された改良土に対して溶出試験が行われる。しかしながら、このような改良土等に対する溶出操作等、各種分野・形態に適合可能な試験方法が明示されていないのが現状であり、一般的には、土壤汚染の判定に用いられる環告第46号の溶出試験方法（振とう試験）により援用している。他には、旧建設省通達（平成12年3月24日）で地盤改良施工後に実施する六価クロム溶出試験として行われるタンクリーチング試験がある。

1)振とう試験（環境庁告示第46号）

振とう試験では、試料の作製として、採取した土壌（改良土）を風乾し、中小礫、木片等を除き土塊・団粒を粗砕した後、2mm以下の土壌（改良土）を用いる。試料液では、試料と溶媒を1:10の割合で混合したものを調製する。重金属の溶出は振とう機（振とう回数200回/分、振とう幅4~5cm）を用いて6時間連続振とうしたものを検液に用いる。

2)タンクリーチング試験（旧建設省通達（平成12年3月24日））

タンクリーチング試験では、施工後の品質管理等の際に確保した試料を、塊状のまま溶媒水中に水浸し、水中に溶出する六価クロムの濃度を測定する。供試体はできるだけ塊状のものをを用いるが形状寸法は定めず、現状有姿のままのものをを使う。試料液では、試料と溶媒を1:10の割合で混合したものを充填し、供試体のすべてが水中に没するよう水浸させ、水浸28日後に溶媒水を採取し、六価クロム他の濃度測定を実施する。

振とう試験においても海外と日本では、振とう方法・振とう時間・供試体粒径が異なり、その影響で溶出に差異が見られる。振とう試験は供試体を粉碎して行う試験法であるため、

環境に与える影響を適切に評価できない可能性がある。このことは、「土壌の汚染に係る環境基準の項目追加等について（答申）平成 12 年 12 月 26 日中央環境審議会」においても、調査及び測定に当たって留意すべき事項として「別紙 2「検液の作成方法」における試料の作成において「中小礫、木片等を除き、土塊、団粒を粗砕」することは、中小礫を無理に細かく砕くことを意味しておらず、土塊や団粒の粗砕以上の処理を行う必要がないこと等、当該基準の合理的かつ適正な運用について改めて周知するものとする。」（原文のまま）と指摘されている。

EU では欧州統一規格（EN 規格）として、粉碎して行う溶出試験の他に有姿のまま行う溶出試験方法が策定されようとしている。EN 規格では ISO 規格原案になる条項もあることから諸外国の動向等も勘案し、利用分野・利用形態に即した試料・検液の作成方法、試験方法の確立が必要である。

3) その他

六価クロムを主とした重金属溶出抑制技術についても開発・普及していくことも必要と考えられる。

4.2 石炭灰の供給

4.2.1 供給体制

(1) 発電所における貯蔵体制

火力発電所の運転（石炭灰の生産）は、年間の電力量の需要想定や定期点検計画に基づく電力供給計画に基づいて行われるのが一般的であるが、電力需要の変動により、都度見直しを掛けながら運転しているのが現状である。

従って、生産(発生)する石炭灰の量・品質とも発電所の運転状態に依存するところが大きい。安定した品質の石炭灰を得るためには発電所の安定運転を継続することが重要である。

また、燃料となる石炭についてもその性状により、生産(発生)する石炭灰の量・品質が変わってくることから、安定した品質の石炭灰を得るためには出来るだけ燃料炭はその性状がほぼ一定のものが望ましい。しかしながら、主に、燃料炭調達先の多様化(リスク回避)、経済性等の観点から、通常、数種類の混合された石炭が使用されているため、発電効率が維持できるように発電所毎に種々の工夫、例えば燃料炭の混合比率調整、燃料炭のボイラーへの投入方法、酸素濃度調整などが行われている。

発電所においては発生した石炭灰を通常、石炭灰の種類毎(原粉、細粉、粗粉またはJIS規格灰、非規格灰など)に仕分けし、発電所構内の複数基のサイロへ貯蔵されている。そのごく一例を、図 - 4.2.1 に示す。

この例では石炭灰は、便宜的に、原粉用、多目的用、JIS種灰用、JIS種灰用、JIS種灰用として、合計5基のサイロに貯蔵されており、定期点検や需要動向に応じて、これら5基のサイロに貯蔵する石炭灰の種類は臨機応変に対応している。

なお、この例にとどまらず、それぞれの電力会社では需要動向をにらみながらも安定供給を果たすべく、それぞれの発電所に設置してある石炭灰サイロへの貯蔵や払出しなどの運用を弾力的に実施している。

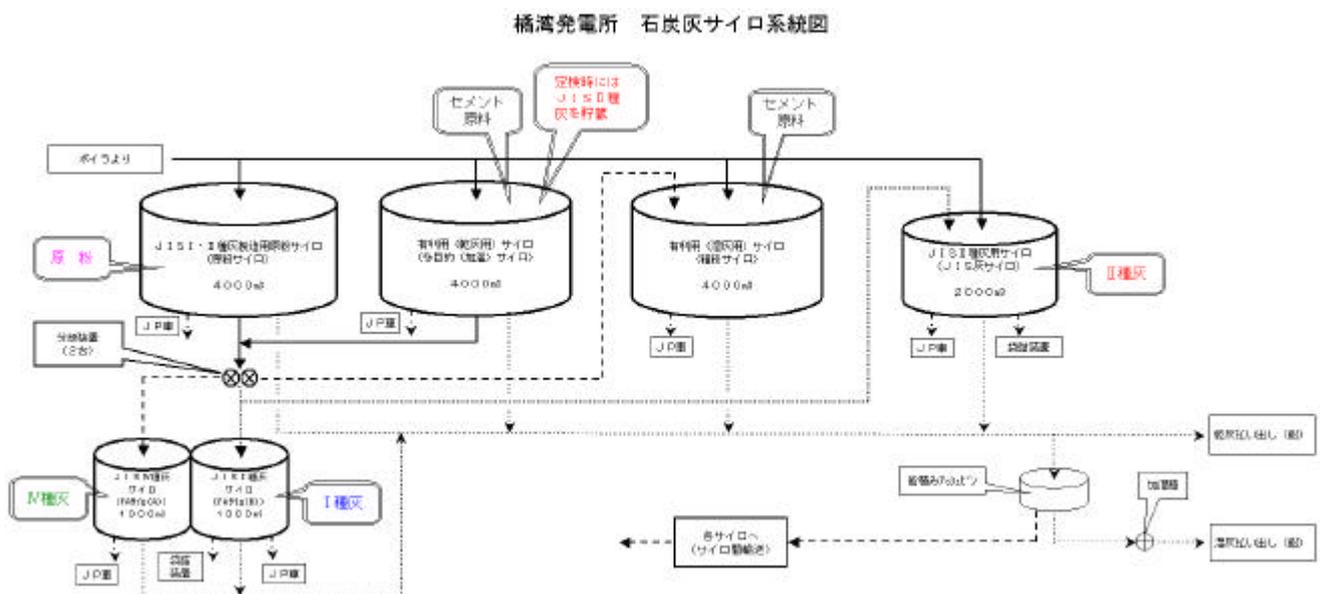


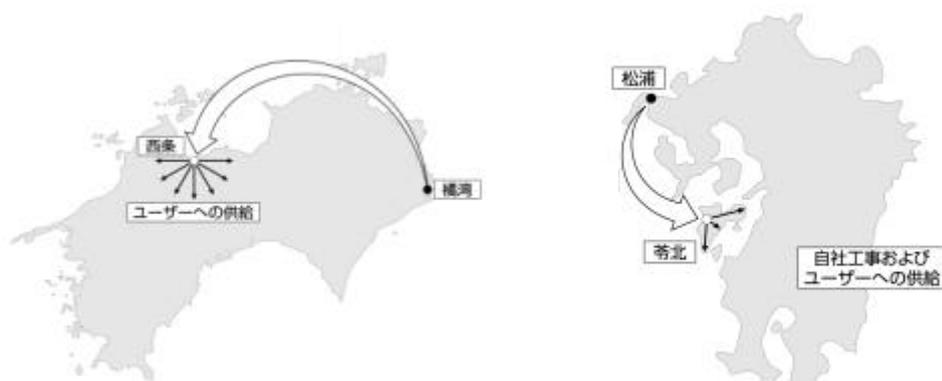
図 - 4.2.1 石炭灰貯蔵サイロの運用例（四国電力(株)橋湾発電所）

(2) 発電所間等の連携

発電所において定期点検が行われるとき、急な発電停止などの事態が生じた場合、ダム工事等の大量需要があるときなど、単一の発電所からだけでは所要品質・所要量の石炭灰が安定的に供給できないと考えられる場合には、発電所間での連携、あるいは、発電事業者間（電力の関係会社間）で連携して安定供給量を確保することで対応している。

1) 発電所間連携

図 - 4.2.2(1)は、定期点検(西条発電所)による石炭灰の顧客への供給不能を防止するため、運転中の発電所(橘湾発電所)から石炭灰を3ヶ月間に亘って約8千トンを送送・貯蔵した例である。また、図 - 4.2.2(2)は、送電系統の事故からその復旧期間において発電所が停止した際に、運転中の他の発電所から合計約5千トンを提供した例である。その他域内供給体制が整備されている各電力（中国電力[㈱]等）では随時連携を行っている。



(1) 定期点検対応（四国電力[㈱]） (2) 緊急発電停止対応（九州電力[㈱]）

図 - 4.2.2 発電所間連携

2) 事業者間連携

図 - 4.2.3 は、大型橋脚用に、北海道電力江別発電所(現在廃止)から32千t、中国電力新小野田発電所から25千t、電源開発高砂発電所から42千tが供給されたものである。この例は、主に電力会社の関係会社で構成される日本フライアッシュ協会加盟の会社間に対応可能な発電所・時期・量などが協議・調整されたものである。



図 - 4.2.3 事業者間連携（明石大橋橋脚）

(3) 輸送方法と受入れ方法

発電所から供給先までの石炭灰あるいは石炭灰加工製品の輸送、およびこれら輸送された物の受入れについては、利用用途・量に応じて、経済性を考慮して種々の形態による輸送および受入れ手段が講じられている（図 - 4.2.4 参照）。

大別すると、セメント原料、ダムコンクリート用混和材のような大量需要には、バラ品として船や圧送管路による輸送、さらには二次輸送としてジェットパック車による輸送が行われており、土木工事、生コン混和材などの用途向けには、ジェットパック車による陸上輸送が多用されている。さらに使用量が少ない小口工事向けには、バラ品のジェットパック車による輸送あるいは袋詰め品の通常のトラック輸送も行われている。

一方、石炭灰の受入れ方法については、状態（乾燥、湿潤）、種類（フライアッシュ、クリンカアッシュ）に応じて、サイロ、ストックヤードへの野積みなどが行われている。

区分	荷姿	輸送方法	受入方法
石炭灰	乾燥状態	バラ品	
		袋詰品	<p>コンテナ</p> <p>一般トラック</p> <p>工事現場 倉庫</p>
	袋物	<p>一般トラック</p> <p>生コン工場、工事現場等 倉庫</p>	
	湿潤状態	バラ品	<p>ダンプトラック</p> <p>貨物船</p> <p>工事現場等 (野積み)</p>
袋詰品		<p>コンテナ</p> <p>一般トラック</p> <p>工事現場 倉庫</p>	

図 - 4.2.4 主な輸送方法と受入れ方法

4.2.2 現状の課題と供給安定の方策

表 4.2.1 は、前出の表 - 4.1.1 に示した平成 13 年度の発生量および供給先を地域別に再整理したものである。

セメント原料および最終処分により処理されているものについては、今後、各地域特性を踏まえながら、全量とはいかないまでも、第 3 章で示すような各種技術の活用が図られれば、建設資材を主体とした新規ユーザーによる活用に移行していくと考えられるものである。

表 4.2.1 石炭灰の地域別発生量¹⁾ (単位: 万 t)

地域	発生量	特定供給・ 受入先 (既存ユーザー)	不特定供給・ 受入先 (新規ユーザー)	セメント原料への依存回避・ 最終処分量の縮減の観点 から建設資材を主体とし て新規ユーザーによる活用 に一部が移行していく	
		各種工場、特定 用途先等	土木工事等	セメント原料	最終処分
北海道	6.4	3.4	6	1.9	5
東北	15.3	4.2	2	8.8	2.2
関東	2.2	8	0	8	5
中部	8.0	9	2	4.9	2.1
北陸	5.0	2	4	4.5	0.3
関西	1.3	2	0	6	5
中国	9.3	7	2.1	4.8	1.6
四国	7.7	7	1	5.3	1.5
九州	11.0	1.3	5	4.1	5.1
沖縄	1.6	0.6	1	5	9
合計	67.9	12.4	4.2	36.2	14.9

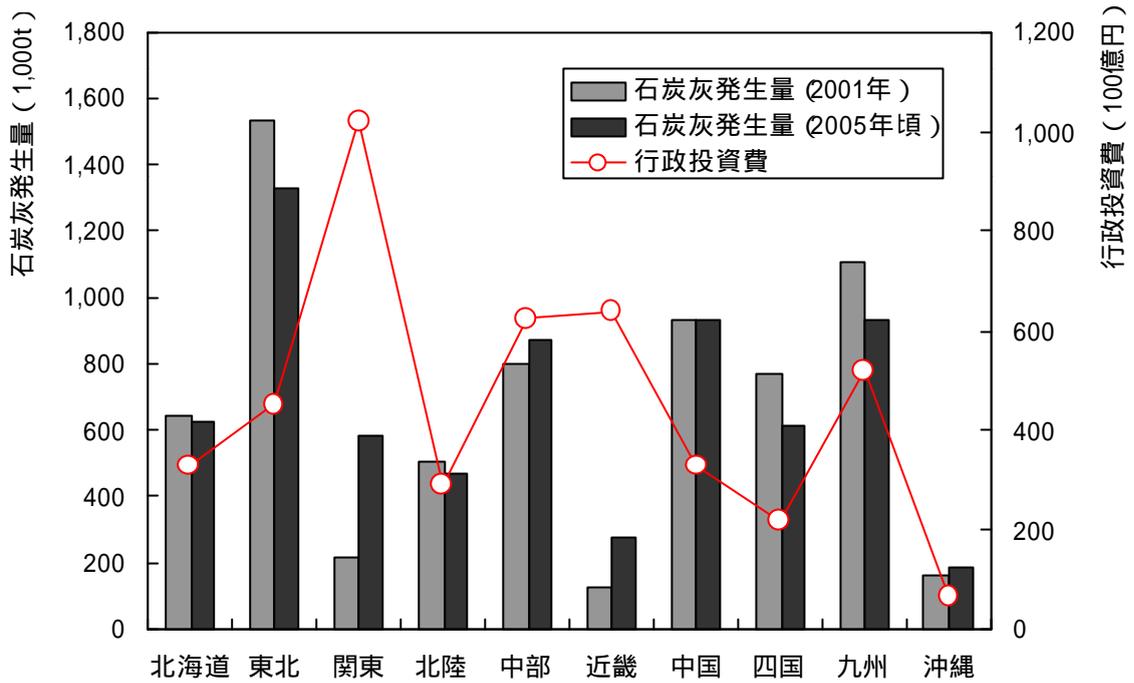
(日本フライアッシュ協会資料(H13年度)を基に再整理: 四捨五入の関係で数値が合わない場合有り)

新規ユーザーは、これまでの各種工場等、プロジェクト的なものといった特定可能な供給先に比較して、需要想定が難しい、供給要請から出荷までの期間も短い、全国的に分散している供給先である。

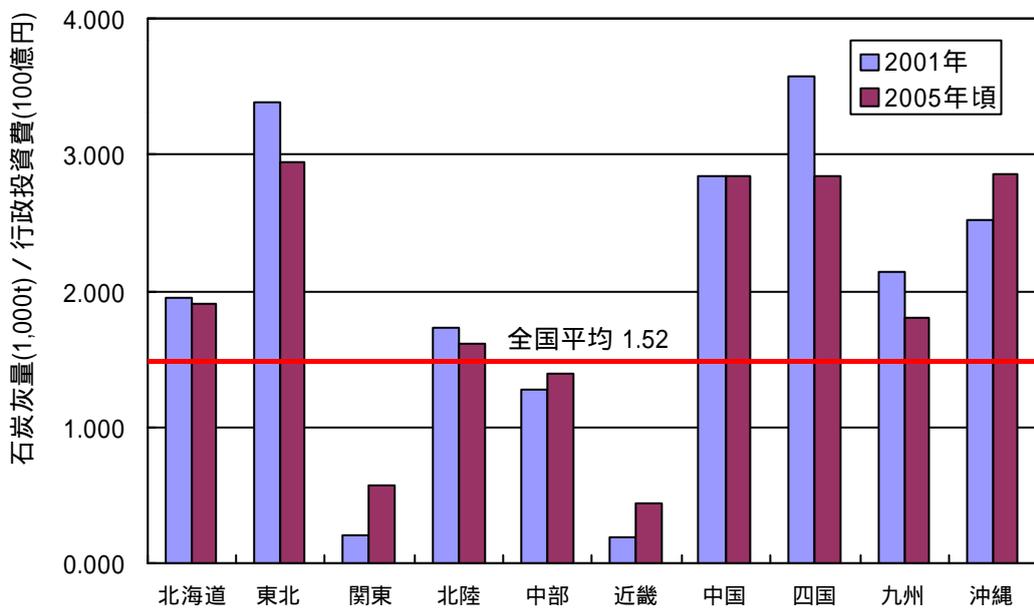
表 - 4.2.1 に示されるように総量としての発生量で見れば安定した数量を供給可能であるものの、地域別に見た石炭灰発生量のバラツキがあるため、これら新規ユーザーへ、安定供給をするためには、地域内における供給体制のみならず、地域による供給アンバランス解消のための全国的な供給体制整備の観点も必要である。

このため地域内・全国大での中継・貯蔵機能の拡充、発電所連携、事業者間連携の強化について各電力、電力間等での取組みが始まっている。

図 - 4.2.5(1)に行政投資費²⁾と石炭灰発生量の地域分布, 図 - 4.2.5(2)に石炭灰発生量と行政投資費との比率を示す。行政投資費が集中する大都市圏である関東・近畿圏は、今後普及が期待される新規ユーザーも多いと想定できるが、地域における発生量としては、他地域に比較して相当低く、石炭灰の不足傾向ということが明らかである。なお、財政投資費とは、生活基盤投資、産業基盤投資、農林水産投資、国土保全投資等を含めた投資費用をいう。



(1) 石炭灰発生量と行政投資費の地域格差



(2) 石炭灰発生量 / 行政投資費比率の地域分布

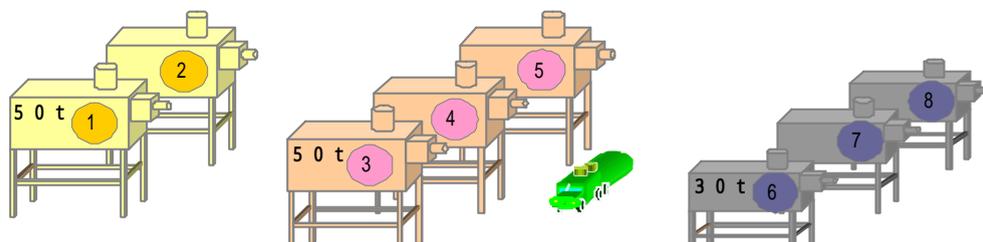
図 - 4.2.5 地域別石炭灰発生量と行政投資費

(1)中継・貯蔵機能の強化

図 - 4.2.6(1)は、石炭火力発電所が立地していない県内への供給を行うため、当該県に定置式中継サイロを設置している例である。図 - 4.2.6(2)は、需要規模に応じて中継・貯蔵の機動性を発揮するために設置される移動式サイロの例である。



(1)定置式サイロ



(2)移動式サイロ

図 - 4.2.6 中継サイロの設置例

他方、電力会社グループ以外の例えばセメントメーカーでは、貯蔵機能と中継機能を兼ねた大型サイロや石炭灰とセメントとの混合設備およびこれらの受入・出荷設備等々から構成されるアッシュセンターを国内数カ所に設置し、自社セメント工場への石炭灰の供給基地として、また、石炭灰を利用した製品の製造・出荷基地とする取組みも始まっている。

(図 - 4.2.7 参照)

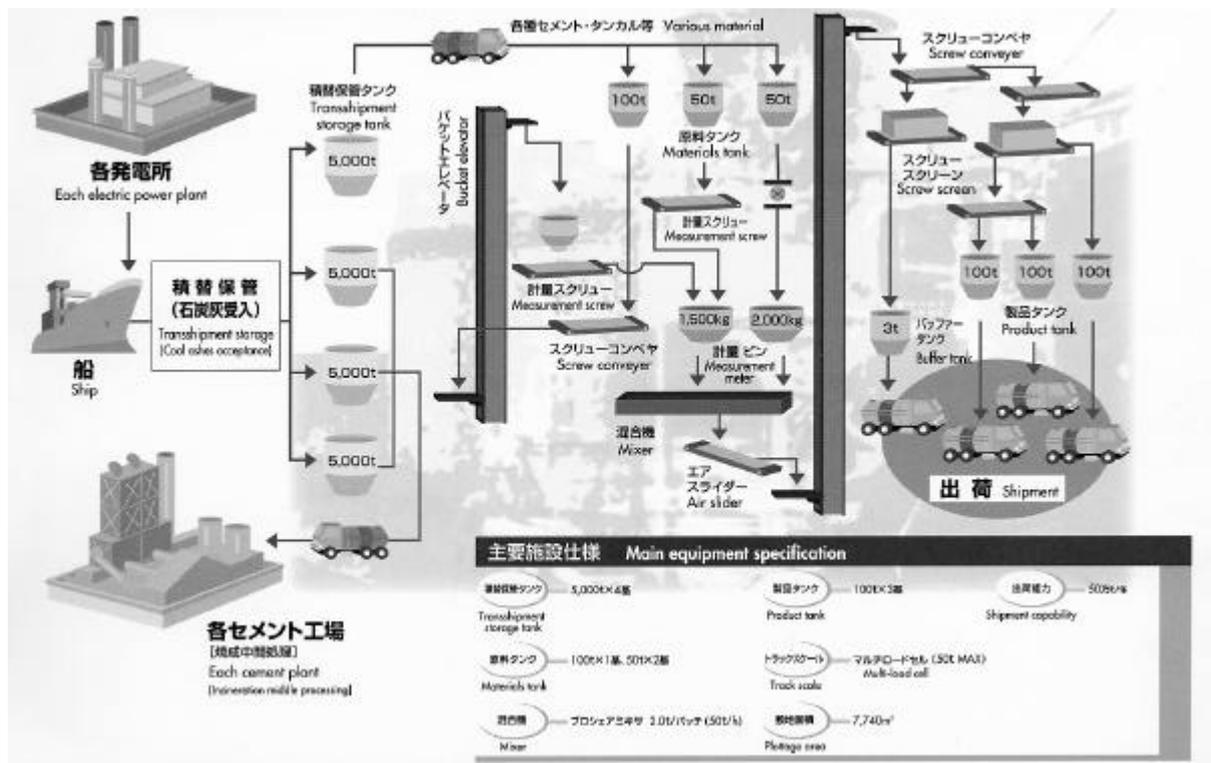


図 - 4.2.7 セメントメーカーアッシュセンター³⁾

(2) 発電所間・事業者間の連携

発電所の定期点検・停止等に起因する供給不足の解消、地域間アンバランスの解消により、全国大において安定供給を図っていくためには、これまで述べた中継・貯蔵機能の拡充だけでなく、発電所間の連携、さらには、事業者間においての連携が不可欠である。

このため、電力会社および関係会社間では、発電所連携、事業者間連携に関する検討・調整が始まっている。

4.2.3 供給の安定性確保に向けて

ここまで述べてきたように、石炭灰の有効利用が全国的に普及・拡大していくための供給体制整備は、まず地域内における供給安定性確保の観点から始まってきている。このような現状と将来的な体制イメージを図 - 4.2.8 に示す。

図のように、現在までに確立している実線で示した、特定のあるいは発電所直近ユーザーに対する供給体制については、今後、破線で示した中継・貯蔵機能の拡充および発電所間、事業者間の連携強化が進めば、全国的な供給体制とすることができる。

4.3 最近の安定供給・品質保証体制についての取組み

4.1、4.2 で述べた品質保証・安定供給体制の確立に向けた電力会社の取組みにおいて、現在、一体的な取組み体制が進んでいる中国電力、四国電力、北海道電力の取組みを示す。

なお、各社の取組み状況の進展は以下のとおりである。

中国電力グループでは、地域内において品質保証・安全性保証・供給安定性保証について確立しており、今後臨海地域においては全国大で供給することも可能な体制となっている。

四国電力グループでは、地域内における品質保証・供給安定性保証について確立し、安全性保証については、現時点では、個別案件毎に保証をしている段階であるがデータ蓄積等を図りながら案件によらず保証できる体制準備を進めており、地域内における体制整備をほぼ確立しつつある。

北海道電力グループでは、苫東厚真発電所付近の主要な消費地である苫小牧を中心とした地域の供給として品質保証・安全性保証・供給安定性保証をほぼ確立しており、今後は札幌等の地域への確立を目指す。

なお、その他電力各社グループでは、これら取組みを参考にしつつ、各社の地域特性、出荷可能製品の選択といった課題を勘案し、発電所近傍・地域内をスタートとした体制検討を進めている段階である。

4.3.1 中国電力グループの取組み

(1)品質保証体制

1)品質の保証

中国電力では、石炭灰を活用した多数の技術開発について、材料としての性能評価はもとより開発した材料に関する施工法の開発など、実用化につながる技術の開発を進め、公共工事で多数採用されるに至っている。これらの技術は、石炭灰の品質変動に対し、影響を受けない或いはその品質確保のための評価・管理手法を確立したもので、あらゆる石炭灰に対してその目的とする品質を満足することができる技術であり、同社自らによる管理体制を確立している。

これらの技術を活用してもらうに当たり、工事着手前の段階でのコンサルティングの他、工事中の施工指導および品質管理に関する技術指導などの十分な支援を行なっている。また、これらの技術を活用後の仕上りに対しての品質を確保することを目的として、公共工事の品質保証も同社自らが行っている。

2)環境安全性の保証

同社においては、現行基準で最も厳しい「土壌汚染に係る環境基準」を基本として、自社の開発技術の管理を行っている。

図 - 4.3.1 に中国電力における安全管理の概念図を示す。基本的には、コンクリート等の硬化体については、その硬化体からの溶出、Hi ピーズのようにセメント等で固化造粒した加工製品については、その製品からの溶出が基準値を満足することを確認した上で公共工事への活用を行っている。一方、軟弱土の固化材として活用する場合のように、土壌と

混合して低強度で活用する場合における安全管理については、石炭灰を用いて固化処理した改良土について、溶出の問題のない石炭灰を炭種毎に選別して、安全性の確保できる石炭灰を出荷用サイロに貯蔵すると共に、自主的に公共工事の改良土について公的機関で溶出試験を行ない、その安全性を確認・報告している。この取り組みにより、この環境安全

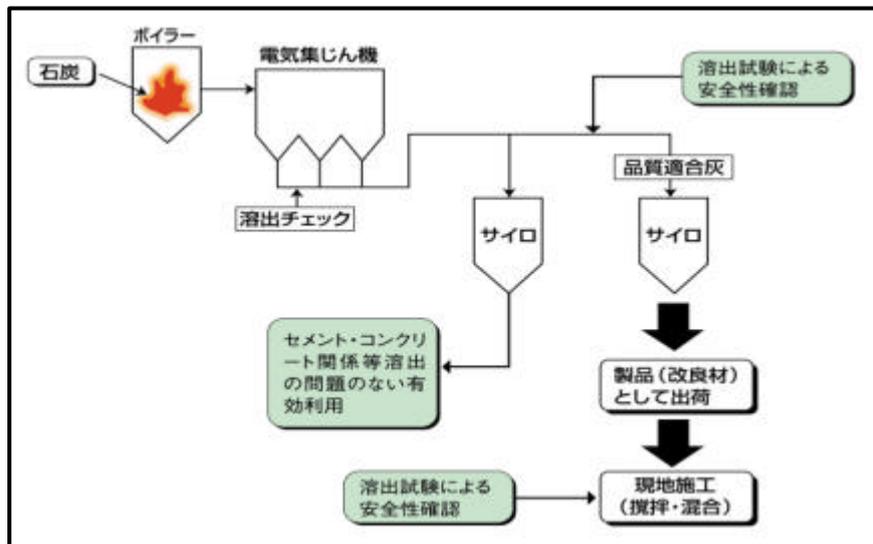


図 - 4.3.1 環境安全性の管理方法概念図（中国電力）

性管理体制が評価され、現在はセメント安定処理に準じる取扱いとなっている。

(2) 安定供給体制

中国電力においては、廃棄物処理法における排出者すなわち電力会社自らが石炭灰を顧客または顧客の窓口商社まで責任を持って届けるための安定供給体制を構築している。

顧客の必要数量を納期に合わせた供給、工事のコスト縮減に寄与できることといった、採用の大前提となっているニーズに応えるため、低コストで供給が可能な技術に的を絞っ



図 - 4.3.2 中国電力の供給体制

て開発を進め、あわせて図 - 4.3.2 に示す供給体制の整備を進めてきた。この図に示すように、中国管内の公共事業のニーズに応えるため、低コストの海上輸送をベースとした供給体制が整備されている。特徴としては、需要地近傍の港湾に 2,000t クラスの固定式大型サイロ（図 - 4.3.3）の他に、移動式サイロ（図 - 4.3.4）として 500~850t クラスのものを数基、また、1,400t クラスのものを 1 基設置し、需要量に応じた機動的な供給体制を敷いていること、さらに石炭灰運搬専用船を有していることなどである。

中国電力では、これまでの公共工事での実績と信頼を基に平成 15 年 4 月から新会社「エネルギー エコマテリア」を設立し、部門を超えて中国電力グループが一体となって、より質の高い迅速なサービスを提供し、有効利用の拡大の取組みを加速することとしている。



図 - 4.3.3 河下港供給基地（2,000 t）

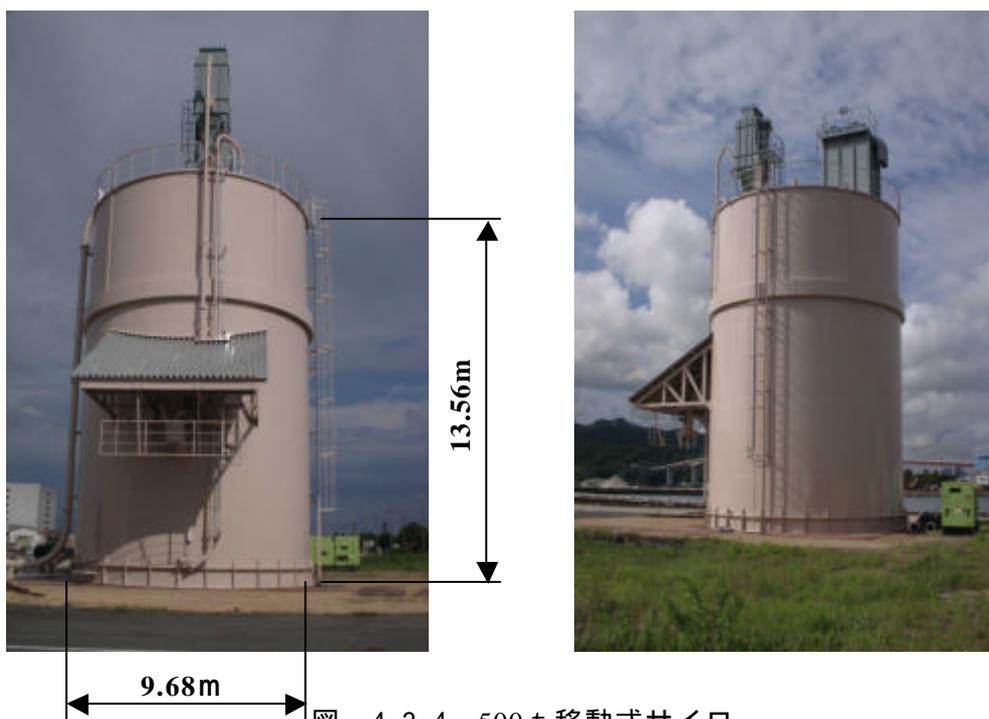


図 - 4.3.4 500 t 移動式サイロ

4.3.2 四国電力グループの取組み

(1)品質保証体制

1)品質の保証

四国電力では、石炭灰有効活用に関する技術開発を長年実施してきており、主要活用先である土木分野での利用に際しては、材料そのものがJIS規格などの公的基準を満たしていないと官庁工事では使用されないと言うこれまでの実態を考慮し、まずはJIS規格が制定されているセメント・コンクリート用途を主な対象として技術開発を進めてきた。したがって、石炭灰(フライアッシュ)の品質としては、発電所燃焼方法の改善や経済性をも考慮した使用炭種の選択等の対応や必要により分級などを行い、JIS規格値に適合させることで品質保証を行ってきた。このことは現在においても、セメント・コンクリート用途以外への利用も含めて、あらゆる有効利用技術に活用されるために必要な品質保証に関する基本的な考えとしている。

とは言え、石炭灰(フライアッシュ)そのものがJIS規格適合品であるからということだけでは、市場で定常的に使われることにはなかなか繋がらないため、同社グループ(四国電力および四電ビジネス)においては、技術開発者自らが工事に関わる種々の場面において発注者、施工業者、石炭灰エンドユーザーなどに対して技術コンサルティング・技術支援を行い、定常使用に向けた活動を展開している。

2)環境安全性の保証

同社グループでは、現行基準で最も厳しい「土壌汚染に係る環境基準」を基本として、石炭灰単独レベルおよび石炭灰使用製品レベルでの試験により環境安全性の確認を実施している。図-4.3.5に同社グループにおける環境安全性の確認方法の概念図を示す。

石炭灰単独レベルでの溶出試験

年1回以上の試験を行い、使用炭種の選定など有効利用拡大に向けた内部資料として整備・蓄積している。

石炭灰使用製品レベルでの溶出試験

- ・環境への溶出の恐れがない生コンやアスファルト用途についての技術開発を先行して実施してきたこと、また、発注官庁からの製品レベルでの溶出に問題なければ良しとする見解を頂いていることから、必要に応じて、事前に溶出試験を実施して、環境安全性を確認している。
- ・特に、コンクリート混和材やアスファルトフィラー材に関しては、初期の開発段階で溶出の問題がないことを確認済みであることから、発注者への事前説明の段階で了解を得ている。
- ・上記以外への利用製品(技術)、特に地盤材料として使用する場合には、研究開発段階は勿論、工事案件毎に事前に溶出試験を行い、発注官庁や施工業者へ問題のないことをフィードバックすることにより環境安全性を保証している。
- ・以上の手順により環境安全性を確認しており、現在まで環境安全性について問題が発生した事例はない。

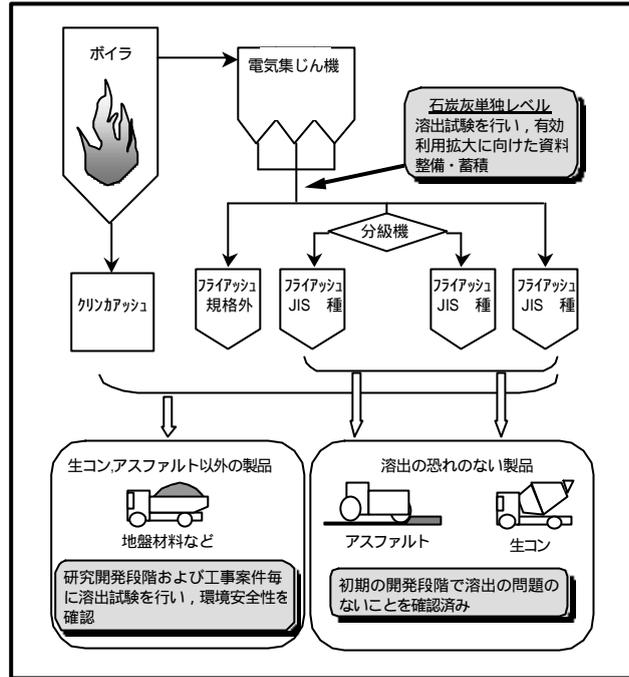


図 - 4.3.5 環境安全性の確認方法の概念図（四国電力）

(2) 安定供給体制

四国電力グループにおける石炭灰の供給体制を図 - 4.3.6 に示す。同社グループでは石炭灰の排出者たる電力本体および実際の販売を担当している関係会社が一体となって、安定供給体制を構築している。

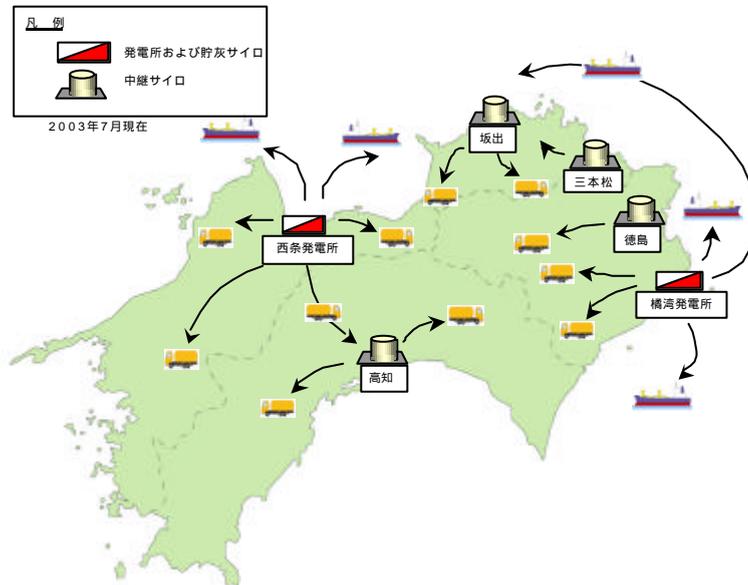


図 - 4.3.6 四国電力グループの石炭灰供給体制

現在のところ、主として四国地域内におけるニーズにタイムリーに応えるべく、発電所内の貯灰サイロだけでなく四国四県で固定式の中継サイロ（図 - 4.3.7）を配備して安定供給責任を果たしている。なお、輸送手段のメインは現在陸送となっているが、一部で現在実施中の海送方法の拡大を検討するなど、より経済的・効率的な供給体制を目指してゆく

予定である。



図 - 4.3.7 高知地区供給用中継サイロ (3 0 0 t)

4.3.3 北海道電力グループの取組み

(1)品質保証体制

1)品質の保証

北海道電力では、石炭灰を活用した多数の技術開発について、実用化につながる技術の開発を進め、公共工事で多数採用されるに至っている。これらの技術は、炭種によって異なる石炭灰の品質変動があっても影響を受けない用途で使用してもらっているが、基本的には、あらゆる石炭灰に対してその目的とする品質を満足することができる技術を開発しており、同社では、品質に対する責任区分を、石炭灰単体、石炭灰加工品、施工の3段階で明確にしている。

これらの技術を活用してもらうに当たり、工事着手前の段階でのコンサルティングを行い、石炭灰加工品の品質確認や施工中の品質管理においても技術支援を行なっている。また、公共工事の品質保証は発注者（施工会社）で行うが、北海道電力が石炭灰に関連した技術支援体制をひくことで品質が保証される。

2)環境安全性の保証

環境において最も留意している点は、軟弱土の固化材として活用する場合のように、土壌と混合して低強度で活用した場合、現行基準で最も厳しい「土壌汚染に係る環境基準」を満足することである。このため、工事においては溶出試験を実施し、環境安全性を確認することが必要であるが、公共工事では改良土について公的機関で溶出試験を行ない、その安全性を確認・報告している。図 - 4.3.8 に北海道電力における安全管理の体制を示す。品質保証体制については、石炭灰単体、石炭灰加工品、改良土の3段階のレベルがあり、たとえ、の段階で環境安全性が担保できても、改良前の土壌で管理項目となる

重金属等溶出の懸念がある場合は、 の段階で環境安全性を満たすことができなくなる。現状では、 、 のレベルで溶出試験を灰種毎やロット毎に個別に実施するのではなく、 の段階で過去のデータ等で重金属溶出の心配のない灰種を選定し、 の段階でそれでも重金属溶出の心配がある場合は、製品として出荷しないようにしている。また、 の段階で改良土については、事前の確認をし、自主的に北海道電力でも実施しバックアップ体制をひいている。このようにP L法（製造者責任）も考慮しながら、品質を保証できる体制にある。

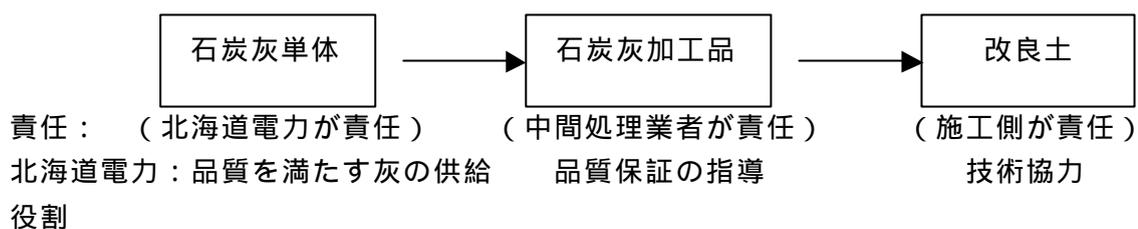


図 - 4.3.8 安全管理体制（北海道電力）

(2)安定供給体制

北海道電力の供給体制は、廃掃法における排出者の立場から関連会社を通して石炭灰を顧客または顧客の窓口商社まで責任を持って届けることを前提としたものとなっている。

現状においては、石炭灰を土工の材料として供給する場合、必要数量を納期に合わせて安定して供給することおよび低コストで公共工事のコスト縮減に寄与できることが採用の前提となっている。北海道電力では、このニーズに応えるため、石炭灰の供給体制の整備を進めてきた。貯灰設備として安定供給を目的に、フライアッシュ用貯灰設備用にブレンディングサイロ 5,000t (2,500t / 基 × 2 基) を、クリンカ用貯灰設備用に 8,000t のストックヤードを、移動式サイロ用に 340t (50t / 基 × 5 基、30t / 基 × 3 基) を設置し、その時の需要量に応じて機動的な供給体制を敷いている。しかしながら、需要の多い夏場では用途に応じた品質適合灰の多様化に対応することができず、既存のサイロ運用では需給調整が困難になることもある。今後は更にサイロの増強も視野に入れて、多様化する需要家に安定供給できる体制をグループ会社である北電興業と連携し目指している。



図 - 4.3.9 貯灰設備（ブレンディングサイロ及び中継サイロ）

4.3.4 品質確保に関する実績例

(1)現場品質管理

石炭灰の現場品質管理においても通常の建設資材・施工と同様、施工中の品質のばらつきを確認したり、現場の一軸圧縮強度等で管理して現場と室内試験との強度の関係把握など物理・工学的要求品質項目の確認、環境影響に関する項目の確認等が行われる。以下に事例を紹介する。

1) 苫小牧西港中仕切り堤の海中盛土でフライアッシュを使用

設計条件がバックハウの上載荷重である $\sigma_1 = 0.06 \text{ N/mm}^2$ とダンプトラックの上載荷重である $\sigma_6 = 0.21 \text{ N/mm}^2$ を満たすことであった。セメント量が $90 \sim 120 \text{ kg/m}^3$ で所定の現場強度を満足すると想定され、現場品質管理はコアの一軸圧縮試験で管理した。

2) 凍上抑制層材としてクリンカアッシュを使用

現場品質管理では密度測定で 90% 以上の締固め度が確保されることであるが、結果は、クリンカアッシュが 91.0%、通常材料である砂利 (0 ~ 40mm) が 94.7% と品質を満足していた。

3) 建設汚泥の再生処理工法としてフライアッシュを使用

北海道生活環境部の通達で再生材の所要条件は以下の 3 項目であった。

強度：コーン指数 q_c 0.2 N/mm^2 または一軸圧縮強度 q_u 0.05 N/mm^2

重金属類の溶出：土壌の汚染に係る環境基準値を満足すること。

水素イオン濃度：5.0 pH 9.0、但し条件に適合しない場合には、その状況が一過性のもので生活環境保全上の支障がないと判断される場合

(但し、この条件は平成 14 年 7 月 26 日付けの北海道から国への通知事項で pH に係わる規定が削除された。)

重金属類溶出試験では、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀について土壌の汚染に係る環境基準値内であることを確認した。

また、pH 試験は固化体の粉碎試料を試験に用いる方法と、固化した盛土材の表面を雨水が接触し溶出することをモデル化した 2 通りの方法で実施した。溶出試験のモデル化した pH 試験結果は、図 - 4.3.1 に示すとおりである。浸せき日数の経過とともに pH が低下し、約 2 週間で所定条件 5.0 pH 9.0 を満足し、一過性のものであることを証明した。

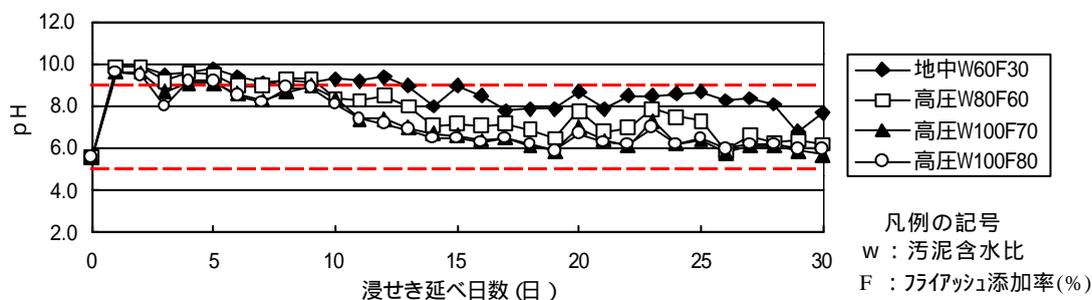


図 - 4.3.1 溶出モデル化による浸漬日数と pH 経時変化

(2)長期耐久性

北海道電力(株)では平成 14 年度に、過年度に石炭灰を使って施工した箇所の検証として、長期耐久性のデータ取得を目的に一軸圧縮強度と重金属類溶出試験を実施した。

1) 苫東厚真発電所 4 号機建設工事の貯炭サイロ基礎部で実施した深層混合処理

試験結果を表 - 4.3.1、4.3.2 に示す。施工約 3 年後の結果では、 f_{3Y} / f_{91} は約 1.8 倍と、一軸圧縮強度の長期発現性が確認でき、また溶出試験結果で安全性も問題ないことから、3 年程度の長期耐久性は確認できた。

表 - 4.3.1 一軸圧縮強度試験結果 (F - C D M)

項目	強度 (kN/m ²)	備考
設計基準強度 f_{91}	1、765	
コア強度 f_{91}	5、053	供試体 12 本の平均
コア強度 f_{3Y}	9、228	供試体 6 本の平均

表 - 4.3.2 溶出試験結果 (F - C D M)

項目	単位	試料 1	試料 2	基準値
カドミウム	mg/l	不検出	不検出	0.01
鉛	mg/l	不検出	不検出	0.01
六価クロム	mg/l	不検出	不検出	0.05
砒素	mg/l	不検出	不検出	0.01
セレン	mg/l	不検出	0.003	0.01
総水銀	mg/l	不検出	不検出	0.0005
フッ素	mg/l	0.08	0.06	0.8
ホウ素	mg/l	0.1	0.1	1
pH	-	11.8	11.6	-

2) 小型船溜ヤードの舗装の下部層としての石炭灰固化盤 (味噌状)

平成 12 年度に施工した石炭灰固化盤のコア強度の経年的なデータを図 - 4.3.2 に示す。施工から 2 年以上経過しているが、フライアッシュの特徴である長期強度の伸びが認められ、施工後約 2 年 4 ヶ月後の強度は材齢 7 日時点に比較して約 2.2 倍となっている。

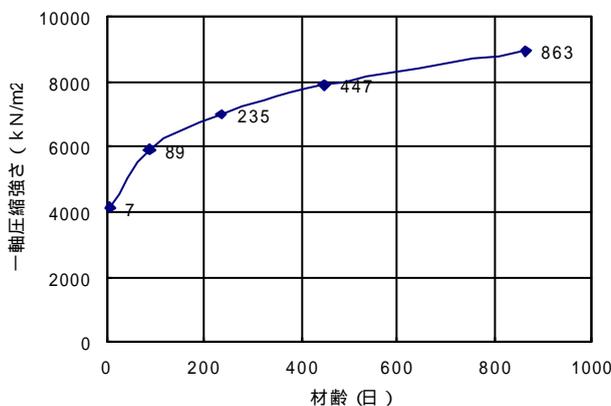


図 - 4.3.2 一軸圧縮強さと材齢の関係

3) ダムコンクリートとして数十年にわたり供用

数十年間にわたる長期耐久性としては、日本各地のコンクリートダムに使われているフライアッシュコンクリートが多数あるが、構造上・機能上特に問題になる点は指摘されておらず、健全であることを立証している。

4.4 石炭灰有効利用に係わる経済性について

石炭灰を有効利用する場合のコストは、「品代（必要な加工費含む）と中継・運搬費」とで構成される。コストの大半を占める運搬費は、需要家までの灰運搬船による海上輸送、ダンプ（加湿灰の場合）やジェットトラック等による陸上輸送に係る費用、必要に応じて中継サイロ、需要地における貯蔵用サイロなども計上される必要がある。

運搬費は受入サイロ、1ロット当りの輸送量などにより大きく異なるため、一概に示すことはできないが、海上輸送については1,000tロット、陸上輸送については10tロットの輸送単位ということで、乾灰輸送費を試算した結果を図-4.4.1に示す。

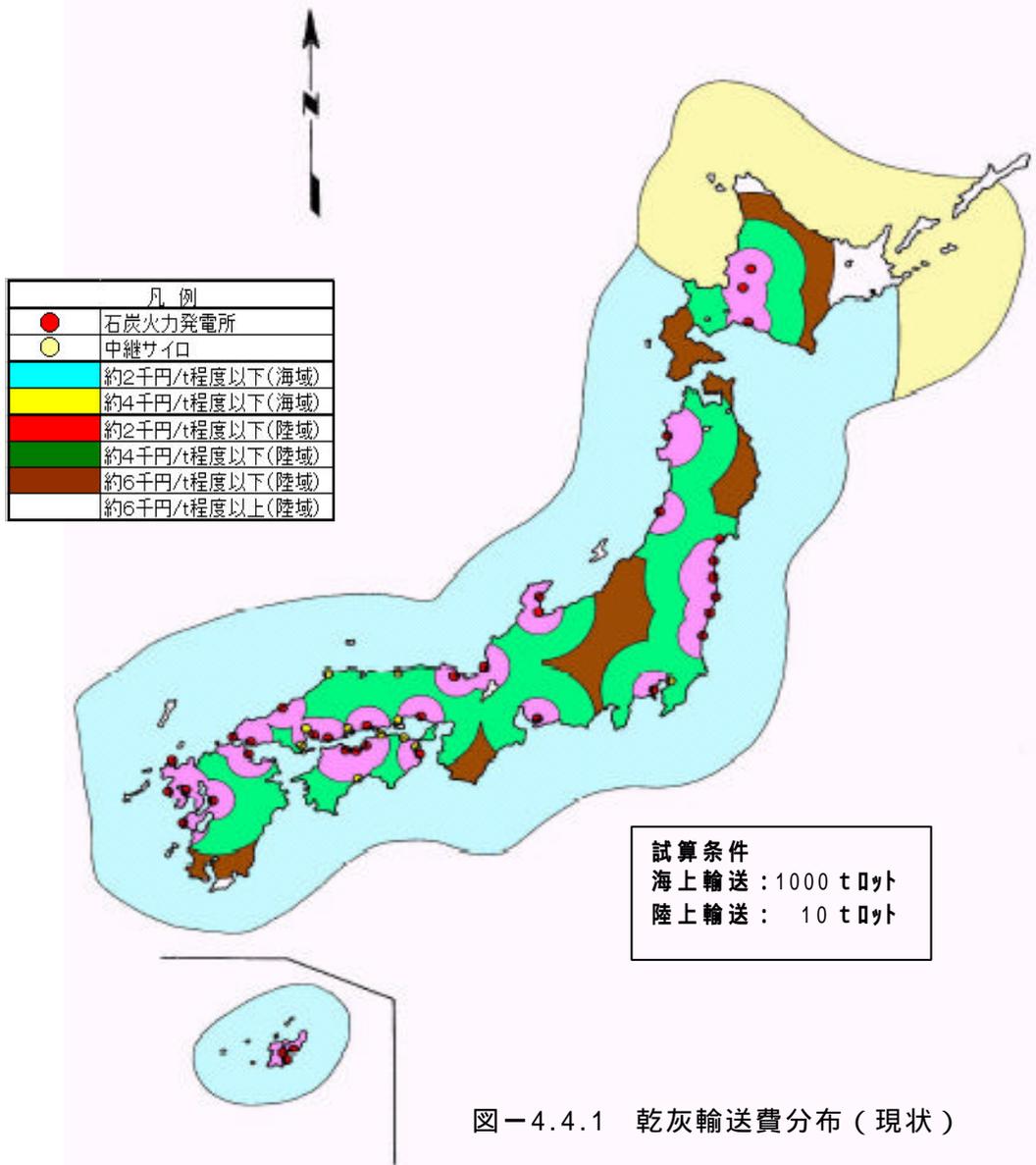


図-4.4.1 乾灰輸送費分布（現状）

同図によれば、海上輸送による臨海域への輸送の場合は、全国的に概ねt当たり約2～4千円程度で、陸上輸送においては、発電所から50km圏内であれば約2千円程度以下で輸送可能であるが、150km以上離れると5千円以上という高い輸送コストが必要な区域も多い。

このことから、3章に示した各種技術の利用は、ユーザーにとって、ある価格レベルであれば有価で購入することができ、かつ石炭灰利用によるメリットが享受できるものであるが、発電所から需要地までの距離が遠ければ遠いほど、つまり、運搬費が高ければコスト高になり、同一利用用途においても発電所近傍であれば、需要家ニーズに応えた販売が可能でも、遠隔地では対応できなくなるという結果になる。

一方、建設資材等の有効利用が進まない場合は、産業廃棄物としてセメント原料への中間処理費、埋立処分費といった費用が排出者側の内部コストとして発生するという事になっている

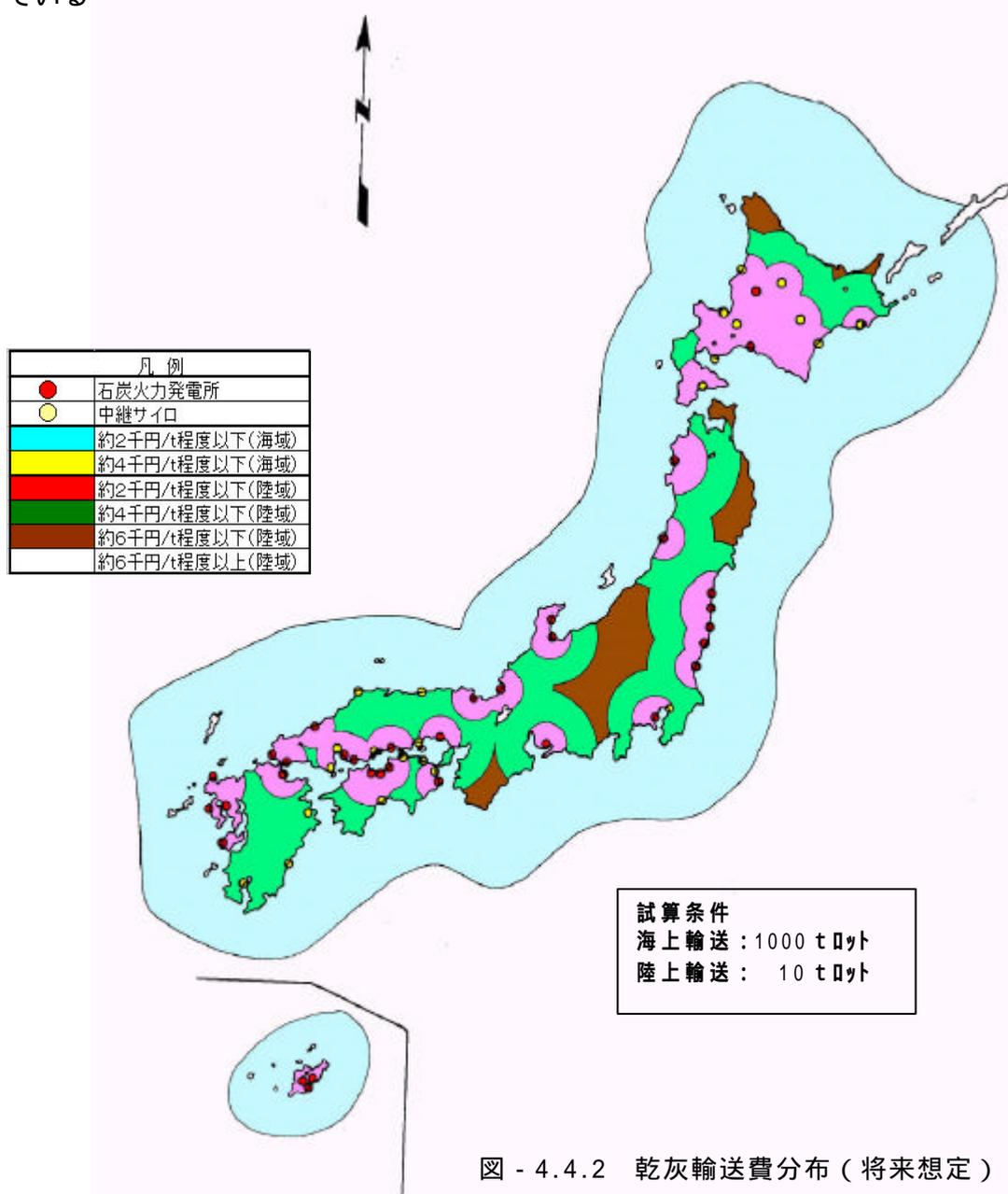


図 - 4.4.2 乾灰輸送費分布 (将来想定)

このような現状に対して、主要港湾にサイロを設置するといった中継・貯蔵機能が整備されると、図 - 4.4.2 に示すように陸域においても全国的に概ね約 4 千円程度で輸送可能という試算結果が得られる。

すなわち、4.2 章で示したような供給体制が全国的に確立していけば、輸送コストの低減を図ることが可能となり、資材としての価格競争力が増し、利用数量が増大することが期待される。

このような建設資材等による有効利用の拡大は、セメント原料への中間処理費、埋立処分費といった排出者側の産業廃棄物処理という内部コストを低減することが可能となる。

このような観点でとらえれば、年々増加する傾向にある排出者としての廃棄物処理による内部コストをこれら中継・貯蔵・運搬体制の整備に活用することにより、建設資材等としての石炭灰有効利用コストを低減させることで、需要を喚起し、最終的には、安定的な低コスト供給体制が構築される。

4.3 章で示した中国電力の管内では、中継サイロ等を利用した供給体制を整備することにより、原粉利用の場合、管内で概ね t 当たり 2 千円程度以内での供給体制を確立した結果により、従来のセメント原料等を除く今後拡大を目指す建設資材への活用量は平成 12 年度の約 10 万 t から平成 13 年度には約 21 万 t と大幅に増大している。

また、四国電力管内においては、内部コストを中継サイロ等の整備並びに利用用途に応じて流通コストへ活用することにより、他の材料と比べて安定供給力とともに価格競争力を有する建設資材として認知されつつある。

また、北海道電力の管内では、苫東厚真発電所近傍の苫小牧港湾工事に大量使用した実績や社内工事等より、陸上輸送で発電所から需要地までの距離が 60km 以内においては、他材料との比較で十分競争力を持つ資材として認知されてきている。

このように、建設資材としての供給体制が発電所近傍、地域内から整備され、将来的には全国的に整備が進めば、ユーザーにとって低価格の石炭灰利用による工事コスト縮減に寄与し、排出者である電気事業者にとっては、販売費用の低減、廃棄物処理の内部コスト縮減に寄与していくものである。

参考文献（第 4 章）

- 1) 日本フライアッシュ協会資料（H13 年度実績）
- 2) 総務省自治行政局地域振興課「行政投資実績（H11 年度）」資料
- 3) 太平洋セメント(株) カタログ