

■ 展 望 ■

石炭灰再資源化の展望

Future Prospects for Coal Ash Utilization

波 松 章 勝*

Akikatsu Namimatsu

1. はじめに

昭和48年末の第一次石油危機および、昭和53年末の第二次石油危機を契機として、エネルギー問題は、わが国をはじめとして、世界各国の重大問題となっている。特に、エネルギーの多くを輸入石油に依存していたわが国においては、その直接的影響が大きく、この打開策として石油代替エネルギーの開発促進がにわかに重要視されてきた。この石油代替エネルギーとして太陽熱、風力、波力、地熱、バイオマスなど様々なエネルギーの開発研究が行なわれるなかで、石炭が大きくクローズアップされてきた。

石炭は、過去には一次エネルギーの中心を占めていたにもかかわらず、第2次大戦後中東地域からの石油に利用上の便利さなどの為、急速に市場をうばわれ、以後ほとんど省みられることがなかった。この石炭が再び見直されるに至った理由としては、①資源的に見てその分布が世界的に広範囲にわたること、②石油をはじめとする他の化石燃料と比較してその賦存量が豊富であること、③加工することによっては石油に近い物性を示す製品を作り、石油に近い物性を示す製品を作り、石油と同様のハンドリングが可能なこと、④更に過去の実績に加えて現在でも鉄鋼業などにおいて原料炭として利用されていたことなどが考えられる。

一方、過去に石炭が石油にその市場をうばわれていた原因をみると、石炭の自然的賦存条件が悪いため採掘、輸送などが困難であったことに加えて、固体であったため採掘、輸送、燃焼のいずれも液体あるいは気体の燃料にくらべて著しく不利であったことなどがあげられる。更に、液体あるいは気体燃料にくらべて著じるしく不利な点として燃焼後の残渣が圧倒的に多いことがあげられる。石炭を燃焼した後は、Si, Al, Feなどの酸化物を主体とした石炭灰が排出され、そ

表1 近年の石炭灰発生量(実績)及び将来予測
(単位: 万t)

項目	年度	52	53	54	60	65	70
石炭使用量		773	773	838	1,650	4,200	6,600
石炭灰発生量		210	213	234	248 ~330	630 ~840	990~ 1,320

(注) 昭和60年~70年は予測値

の量は使用した石炭の5~30%に及ぶ。これらの石炭灰の一部は、セメント混和材やセメント原料などとして利用されているものの、その大半は埋立処分されているのが現状である。しかし、埋立処分にも限界があり、特に最近都市近郊において埋立処分地を確保できなくなったり、環境制約上の問題などにより埋立処分が困難になるに従い、石炭灰を再資源化する動きが強まっている。

近年の石炭灰発生量と将来の予測量を表1に示す。これによると、昭和65年度には昭和54年度の約3倍、昭和70年度には同じく約4~6倍の石炭灰が発生するものとみられる。このように、石炭利用が拡大するとともに、その燃焼灰の処理は緊急に解決されなければならない問題となっている。

2. 石炭灰の物性

石炭火力発電所から排出される石炭灰は大きく分類して、ボイラー底部から排出されるクリンカッシュ、集じん機等で捕集されるフライアッシュあるいはシンダーアッシュとに分けられるが、その分類は明確に定義されているわけではなく、集じんシステムの相違などの現実的な面から分類されている。また、それらの灰の発生比率や性状も表2に示すように発電所によってまちまちである。一方、石炭灰の化学組成の一例を示すと表3のとおりであり、参考として示した土壌の成分と比較的似ているといえる。また、石炭灰と粘土あるいは珪石との化学組成例を示すと表4のとおりであり、 SiO_2 を主成分とする珪石とは若干異なるものの、土壌の主要構成成分である粘土と非常に類似して

* 財計測科学研究所環境システム室主任研究員

〒150 東京都渋谷区広尾5-4-7

表2 石炭灰の発生比率と性状の一例

発電所名	灰種	形状	発生比率(%)	粒度分布(mm)	真比重	強熱減量(%)
H電力E発電所	クリンカー	砂礫状	10	0.5~1.0	2.0~2.2	5
	シンダー	粉状	75	—	—	—
	フライ	粉状	15	0.02~0.03	2.0~2.2	1
KY電力O発電所	クリンカー	粒状	40	0.3~2.0	2.16	1~2
	シンダー	粉状	10	—	2.10	2~4
	フライ	粉状	50	0.02~0.05	2.1~2.3	0.5~3.0
D社I発電所	クリンカー	砂状	20	平均粒径1~2	2.23	2.0~3.0
	フライ	球状	80	平均粒径0.02	2.23	2.0~4.0
D社T発電所	クリンカー	塊状	15	0.2~5.0	2.23	5
	フライ	粉状球形	85	0.01~0.1	2.23	

環境庁「石炭灰の有効利用拡大に関する基礎調査報告書」(昭和57年3月)

表3 石炭灰および我国土壌の組成例 (単位%)

項目 成分	クリンカー アッシュ	フライ アッシュ	参 考 (注)		
			沖積層土	非火山灰洪積層土	火山灰および 火山灰質洪積層土
SiO ₂	53.83	51.02	65.80	53.22	48.20
Fe ₂ O ₃	5.34	6.01	10.02	9.79	11.35
Al ₂ O ₃	24.55	24.93	12.39	22.19	23.97
CaO	7.30	8.22	1.73	1.68	1.49
MgO	1.66	2.05	0.92	1.31	1.50
TiO ₂	1.07	1.17	0.60	0.93	0.85
Na ₂ O	1.26	1.57	2.09	1.59	2.03
K ₂ O	1.59	1.49	1.11	0.62	0.57
水分	0.20	0.20	—	—	—
強熱減量	1.76	1.00	5.17	9.38	10.77

(注) 川口桂三郎他「土壌学」朝倉書店より引用

表4 石炭灰・粘土および珪石の化学組成

成分	石 炭 灰		粘 土	珪 石
	国内炭	外国炭		
SiO ₂ (%)	50~55	40~75	60~70	85~95
Al ₂ O ₃ (%)	25~30	15~35	10~25	1~8
Fe ₂ O ₃ (%)	4~7	2~20	4~8	1~3
CaO (%)	4~7	1~10	1~3	0~1
MgO (%)	1~2	1~3	1~3	0~1

環境技術研究会「石炭利用技術マニュアル」(昭和56年11月)

いる。

一方、生物起源の堆積物である石炭には、過去の生物環境からの微量元素の著しい濃縮がみられる。これらの石炭中に濃縮された微量元素は、石炭が燃焼されることで更に濃縮される。石炭灰中の微量元素含有量についての報告例を表5に示す。これを見ると、重金属類の含有量が土壌に比較して高く、灰を埋立て処分した場合などに重金属類の溶出が懸念されるが、溶出試験の結果では、表6のように鉛、六価クロム、ヒ素

などが若干溶出するもののいずれも「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準」を満足している。しかし、石炭灰溶出液は、石炭灰中に含まれるカルシウムやナトリウムなどのため表7に示すように高いPH値を示す。炭種によって若干異なるが、純水の場合11.5~12.9、海水の場合9.4~10.2程度であり、このため「廃棄物処理法」の安定型物質には認められず、現在管理型物質の扱いを受けており、埋立て等を行う場合には遮水構造をとるよう義務づけられている。

3. 石炭灰再資源化の現状

我国における石炭灰再資源化の昭和52年度以降の状況をみると、表8のとおりであり、その有効利用量および率のいずれも確実に上昇し、昭和55年度では33%に達している。しかし、石炭灰の有効利用が行なわれているのは北海道と関東の一部に限定されており、その他の地域ではごくわずかにすぎない。また、これら

の利用用途についてみると、表9および10のようにな
っており、セメント混和材やセメント原料(粘土代替)

表5 石炭灰と泥質堆積物中の微量元素含量(ppm)

元 素	地 殻 (平均値)	泥質堆積物 (平均値)	石 炭 灰 (最高値)
Li	65	46	960
Be	6	< 4	2,800
B	10	310	8,600
Sc	5	6.5	400
Ti	4,400	4,300	20,000
V	150	120	11,000
Cr	200	550	1,200
Mn	1,000	620	22,000
Co	40	8	2,000
Ni	100	24	16,000
Cu	70	192	4,000
Zn	40	200~1,000	10,000
Ga	19	50	6,000
Ge	7	7	90,000
As	5	~5	8,000
Rb	280	300	33
Y	28	28	800
Zr	220	120	5,000
Nb	20	—	2
Mo	2.3	—	2,000
Ag	0.02	0.05	5~10
Cd	0.18	0.3	80
In	0.1	0.5	2
Sn	40	40	6,000
Sb	1	3	3,000
I	3	0.3	950
Cs	3.2	12	4
La	18	18	31
Ta	2.1	—	0.1
Pt	0.005	—	0.7
Au	0.001	—	0.2~0.5
Hg	0.5	0.3	50
Tl	1.3	2	25
Pb	16	20	1,000
Bi	0.2	1	200
U	4	1.2	600

(注) 山県登「微量元素」産業図書

表7 石炭灰溶出液のpH測定値

国別 溶媒 項目	国内炭		中国炭		南ア炭		豪州炭	
	純水	海水	純水	海水	純水	海水	純水	海水
pH	12.4	10.2	12.5	10.0	12.9	10.0	11.5	9.4

溶出試験方法：純水は環告13号 海水は環告13号に準拠
環境庁「石炭灰の有効利用拡大に関する基礎調査報告書」
(昭和57年3月)

への利用が多いほか、北海道に特徴的な利用方法とし
て廃坑充填材に多くの石炭灰が利用されている以外は、
ほとんど見るべきものがないのが現状である。

表11に、現在我国で実際に行われている石炭灰再資
源化の現状をまとめた。利用用途をみると、主にセメ
ント混和材を中心とした土木用材としての利用方法と
肥料や土壌改良材などの農業用材としての利用の2つ
に大別される。セメント混和材やセメント原料などは、
今後とも着実に利用量が増加するものと考えられるが、
この分野においてはすでに高炉スラグの利用が広く行
われており、現状のままでは飛躍的な需要増は期待で
きない。コンクリート骨材については、都市近郊を中
心として今後の需要増が期待できるが、現状での利用
はあくまで砂の代替品としてである。今後、石炭灰の
特徴である耐熱性あるいは耐アルカリ性などの性質を
生かした人工軽量骨材や断熱建材などへの利用が望ま
れており、現在、開発・研究の努力が続けられている。

路盤材および路床材については、道路用材が比較的
豊富な我国においては、一般的需要としては、東京・
大阪等の大都市近郊に限定されるが、北海道などに
おいて、凍上防止材としてのすぐれた性質が認められ
れば大量需要につながる事が期待される。この場合、
利用される灰は主に粗粒灰のため、大量需要に対応
するには粒度調整のほかには貯留施設が必要になるも

表6 石炭灰の溶出試験結果

(単位：mg/l)

国別 溶媒 項目	国内炭		中国炭		南ア炭		豪州炭		埋立処分 に係る 判定基準	海洋投入 処分に係る 判定基準
	純水	海水	純水	海水	純水	海水	純水	海水		
アルキル水銀	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
全 水 銀	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.005	< 0.005
カドミウム	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.3	< 0.5
鉛	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 3	< 1
有機リン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 1	< 1
六価クロム	0.19	0.19	ND	ND	0.10	0.15	ND	ND	< 1.5	< 0.5
ヒ 素	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06	0.20	< 1.5	< 0.5
シ ア ン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 1	< 1
P C B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.003	< 0.003

溶出試験方法：純水は環告13号 海水は環告13号に準拠 環境庁「石炭灰の有効利用拡大に関する基礎調査報告書」
(昭和57年3月)

表8 石炭灰処理実績

(単位:万t)

項目	昭和52年度				昭和53年度				昭和54年度				昭和55年度			
	発生 灰量	処理内訳			発生 灰量	処理内訳			発生 灰量	処理内訳			発生 灰量	処理内訳		
		有効 利用	海面 埋立	陸上 埋立												
H 電力	132	21	—	111	121	23	—	98	126	29	—	97	128	28	—	100
TH電力	5	1	—	4	4	1	—	3	5	2	—	3	7	1	—	6
CG電力	2	1	1	—	3	1	2	—	5	1	3	1	10	2	8	—
KY電力	5	2	3	—	7	3	4	—	8	2	—	6	4	2	—	2
D 社	56	13	37	6	57	23	18	16	58	29	11	18	70	38	23	9
J 社	10	4	—	6	10	3	—	7	11	5	—	6	10	6	4	—
S 社	11	—	11	—	(0.3)	—	(0.3)	—	21	—	21	—	4	—	4	—
合 計	221 (100%)	42 (19%)	52 (24%)	127 (57%)	202 (100%)	54 (27%)	24 (12%)	124 (61%)	234 (100%)	68 (29%)	35 (15%)	131 (56%)	233 (100%)	77 (33%)	39 (17%)	117 (50%)

出典:資源エネルギー庁

表9 昭和53年度石炭灰処理状況(D社分)

用途	計		備考	
	(ft)	(%)		
有効	フライアッシュ			
	セメント混和材	134	(58.0)	
	セメント粘土代替	72	(31.2)	
	土壌改良材	3	(1.3)	特殊肥料
	酸化防止材	4	(1.7)	製鉄用
	計	213	(92.2)	
利用	クリンカー			
	路盤材・埋戻し材	13	(5.6)	
	コンクリート用骨材	5	(2.2)	ブロック用骨材
	計	18	(7.2)	
合計	231	(100)	40.3	
総灰量	フライアッシュ	439.3	76.7	
	クリンカー	133.6	23.3	
	計	572.9	100.0	
灰捨量	フライアッシュ	226.3	39.5	
	クリンカー	115.6	20.2	
	計	341.9	59.7	

環境技術研究会「石炭利用技術マニュアル」(昭和56年11月)

のとみられる。なお、道路用材への利用については、昭和55年7月末に北海道において「石炭灰資源化研究委員会(道路材料部門)」が設立され体系的研究が進められており、その成果が期待されている。

埋戻材については、統計資料上埋立処分として扱われているものがかなりあるとみられ実際の数量を把握することは困難であるが、過去にはかなりの量が利用

表10 石炭灰処理状況(H電力分)

	用途	昭和53年	昭和54年
利 用 分	セメント混和材	111.8千t	112.6千t
	路盤材	0.6	0.2
	廃坑充填用	163.9	158.7
	融雪及び肥料	0.3	4.5
	土壌改良材	6.5	5.7
	建材用	0.6	2.7
	レンガ・スレート材	0.2	—
	鋳型砂代用	3.5	2.6
	石炭灰発生量	1,214.0	1,257.2
	石炭灰利用率	24%	23%
石炭灰利用量	287.4	287.0	

環境技術研究会「石炭利用技術マニュアル」(昭和56年11月)

されていたとみられる。しかし、埋戻材としての利用は、他の有価物と比較して石炭灰の価値の低さを示すものであり、更に「廃棄物処理法」との関係もあり、今後、跡地利用をも含めた利用方法の検討が必要である。

廃坑充填材は、北海道という産炭地に特有の利用方法であり、今後とも着実に需要が期待できるものの、近年の炭鉱閉山の状況からみて飛躍的な増加は望めない。肥料(グリーンアッシュ等の特殊肥料)・融雪促進剤・土壌改良材などは、過去にはかなりの需要があったものの、現状では低迷状態にあり、今後需要が再び増加するとは考えられない。

しかし、昭和56年から本格生産がはじめられた珪酸カリ肥料は、ほぼ好調な販売実績を示しており、今後

表11 石炭灰有効利用の現状と問題点

用途	技術概要	製品化の現状	特徴および問題点等
①セメント混和材	①混合セメント（フライアッシュセメント）フライアッシュ微粉（ $< 5 \mu\text{m}$ ）をセメントに混合したもので混合割合によってA（5～10%）B（10～20%）C（20～30%）の3種に分類される（JIS R-5213—1979） ②ポルトランドセメント 昭和54年10月1日のJISセメント規格の改正によりポルトランドセメントへのフライアッシュ混入が5%まで認められたもの。	①製品化済 ②現状では最も多い利用量を占める。	①公害規制との関係で、低NOx燃焼法を採用した際、フライアッシュの未燃分がJIS規格（5%以下）をオーバーする可能性がある。 ②高炉セメントと競合する可能性がある。 ③供給体制の確立必要 ④遠距離輸送する場合コスト的に引き合わない。
②セメント原料（粘土代替）	①セメント原料の18%を占める粘土の10～20%を石炭灰で代替するもの	①製品化済 ②都市近郊などの粘土採取が困難な地域で実用化されている。	①粘土にくらべSiO ₂ 含有率の低い国内炭燃焼灰を使用した場合SiO ₂ が不足し珪石で補う必要がある。 ②粘土との代替率を高めるための研究必要 ③低NOx燃焼による残存アルカリ性の問題 ④高炉スラグとの競合 ⑤粘土のコストアップとの関係で需要拡大が望める。
③コンクリート骨材	①石炭灰中の比較的粒度の大きいものをコンクリート骨材の細砂に代替する。	①製品化済 ②都市近郊立地型の火力発電所においてわずかに販売実績あり。	①砂の採取が困難な地域においては有力な代替材とないうる。 ②積極的なPR活動が必要
④路盤材・路床材	①主に粗粒灰を用いる。 ②寒冷地においては、凍上抑制層の素材として石炭灰が用いられる。 ③埋立て後2～3年経過したもの（既成灰）が適すとされている。	①試験道路に使用済	①凍上防止材として火山灰より良好とされ水はけも良好。 ②砂との混合使用も可。 ③大量需要に対応するため集中・貯留が必要。 ④北電技研において試験道路を作り試験中であり、この研究が成功すれば、大量需要につながると思われる。 ⑤JIS等の規格化が必要。
⑤埋戻材	①土砂採取跡地等の埋戻材に石炭灰を利用。	①過去にある程度の量が使用されたとみられる。	①用途的に埋立て処分とあまり変わらない。 ②遠距離輸送する場合、コスト的に見合わない。
⑥廃坑充填材	①炭鉱などの採掘跡に石炭灰を充填する。	①製品化済 ②北海道において昭和53年、54年と毎年約16万tの需要あり。	①北海道などの産炭地域に特有の用途 ②石炭搬入車の掃りの空車を利用できるためコスト的に有利。
⑦肥料（特殊肥料） 融雪促進剤 土壌改良材	① グリーンアッシュ（特殊肥料） フライアッシュをそのまま農地に散布する。雪の上から散布することにより、融雪剤としての効果ののち、けい酸肥料として利用する。更にヘドロ土壌の物理的改善効果もある。	①製品化済 （現在は、融雪剤および土壌改良材中心） ②昭和43年のピーク時には10万tを超える実績あり、その後急激に減少し、現在は融雪剤と土壌改良材としてのみ利用。	①肥料としての効果が予想したほどでなかった。 ②有効成分が少ない。 ③コストが高く経済的に見あわなかった。 ④他の肥料との競争力がなかった。 ⑤今後は、融雪剤や土壌改良材として北海道など一部の地域で利用されるとみられるが、量的な増加は望めない。
⑧肥料 （けい酸カリ肥料）	①FA原粉に加里塩を混入して高温で焼成する（昭和35、電中研により特許化されている） ②乾燥・焼成・冷却などに流動層を用い、焼成は微粉炭による自然方式を採用している。 ③電発フライアッシュが磁子発電所構内に2万t/年の肥料工場を設置（昭和55年5月操業）	①製品化済 ②昭和56年に数千tの需要あり	①従来の塩化カリ肥料のように農業上無益な塩素を含まない緩効性珪酸カリ肥料ができる。 ②PRおよび販売網の確保が必要。 ③昭和53年、肥料取締法により公定規格が設定されている。 ④今後も有望であり、10数万tの需要も可能とみられる。 ⑤更にリン酸を加えるなどの工夫により、肥効を高め、他製品との競争力をつける必要あり。

の増加が期待されるが、原料費に占めるカリウムの価格が高いため他の肥料にくらべて価格が若干高く、他製品との競争力の点で、問題がある。この点については、製造コストの低減も一方法であるが、更にリン酸を添加し、珪酸塩をベースとするリン酸カリ肥料とすることにより、肥効を一層高めるなどの積極的な研究・開発も必要であろう。

このように、現在実際に行われている石炭灰有効利用用途は意外に少く、その利用形態も大量需要につながっているものは主に土砂等の代替品としての位置付けのものが多い。今後の課題として、石炭灰の特徴（例えば、不燃性、耐熱性、耐アルカリ性など）を利用した独特の利用方法を考えていく必要がある。なお、表にまとめた以外にも、建材、レンガ、スレート材、

鋳型砂などにも利用されているとの報告がある。これらは、いずれも現在試験的に行われている程度とみられ、実態についても不明な点が多い。

4. 石炭灰再資源化の問題点と今後の展望

現在、石炭灰の再資源化は、そのほとんどが灰捨地の不足を補完するための一手段として考えられているため、その用途も砂や礫の代替品としての利用が多い。このような付加価値の低い製品の場合、輸送費のかさむ遠隔地での需要に対応することができず、必然的に市場をせばめることになる。また、現在、各電力会社などが進めている研究・開発の多くは、大量需要を目的としたものであり、そのような目的に合致するものは概して付加価値の低い製品に対応し、付加価値の高い製品を作ろうとすると逆に大量需要は望めなくなるというジレンマに陥る。例えば、セメント混和材は、その性格上大量需要が望めるが、付加価値が低いため船舶輸送などを考えない限り長距離輸送した場合、コスト的に見合わず、他製品（特に高炉スラグ）との競争に勝てないことになる。一方、人工軽量骨材、無セメント硬化材、断熱材、アッシュウールなどは石炭灰の物性をうまくとらえた製品として興味深く、比較的付加価値も高い製品ではあるが、現状では製造コストが高いため実際に商品化され市場に出まわるためにはかなりのコスト面からの検討が必要である。それでは、全く他に類をみないような新しい製品を作ること誰もが願ってやまないものであるが、石炭灰が天然に存在する土や石とほぼ同じ組成のものであることから、現在の科学技術の枠内で高度の付加価値を有する製品を作り出しうる可能性は低いと考えるべきであろう。

このように、石炭灰再資源化の将来性はかならずしも明るいとはいえず、各電力会社等においても、将来の石炭灰発生量の増加をあわせて考えるなら、現状での有効利用率30%を維持するだけでもかなりの努力を必要とするであろうとの見方をしている。しかし、石炭を利用する以上石炭灰は必ず発生するものであり、その処理・処分がうまく進まなければ石炭利用自体が困難となることが考えられる。例えば、瀬戸内海地域では石炭灰の埋立て処分は事実上不可能となっており、今後新設される石炭火力から発生する石炭灰はどのような形にしる再資源化されなければならなくなっている。また、このような例を出すまでもなく、「廃棄物処理法」に基づく管理型廃棄物の指定により、埋立処分地は遮水構造を余儀なくされておりこのための

コストアップも電気事業者にとっては無視できない負担となるであろう。このような石炭灰の処理・処分をめぐる困難な状況をふまえて、ここでは石炭灰の埋立処分に要する費用の一部を、再資源化のためのインセンティブとして付加することを前提として検討するものとする。このようなインセンティブを付加することにより、輸送費のかさむ遠隔地での需要に対応することができ、更に他製品との競合にも打ち勝つことが可能となるであろう。

以上の条件をふまえて、現在要望されている大量需要に対応しうる用途をあげると、①セメント混和材およびセメント原料（粘土代替）への利用、②道路材料への利用、③人工島あるいは埋立地造成、などが考えられる。

①セメント混和材およびセメント原料への利用は現在でも石炭灰の最も多く利用されている用途であり、技術的にも最も確立されている。更にその魅力は、市場の大きさにある。昭和55年の我国のセメント生産量は約8,740万トンであり、このセメントの原料として2%を加えるものとしても約175万トンの石炭灰が利用可能である。また、同じく昭和55年のポルトランドセメントの生産量は約8,000万トンであり、これに5%以内で石炭灰を利用したとしても実に400万トンという膨大な量となる。

②道路材料への利用は、北海道電力側や電源開発側など多くの電力会社によって考えられ、現在北海道において「石炭灰資源化研究委員会」が実用化に向けて体系的な研究を行っており、実用化も間近いものと期待されている。しかし、道路といってもその構造は複雑であり、道路のどの部分にどのような性状の灰が適するかなどは、「石炭灰資源化研究委員会」の今後の成果を待たなければならない。しかし、この利用法も実現されれば大量需要につながる。一例として、北海道などの寒冷な地域において、凍上現象による被害を防ぐため下層路盤の下に設けられる凍上抑制層に利用した場合を考えると、凍上抑制層の厚さを40～50cm 道路幅員7mの道路を10km作る場合、約3.5万トンの石炭灰が利用可能となる。我国において毎年8,000km前後の道路が建設されていることを考えるといかに大きな市場であるかが推測できる。

③人工島あるいは埋立地造成は、その規模までは想定することは困難であるが、一般に大量の土砂を必要とする。ところで、今後の石炭火力の多くが海外炭受入れの関係で海岸立地型となることは、トラックなど

の陸上輸送にくらべて安価な船舶輸送で石炭灰を利用先へ運搬できるという有利な条件を提供する。また、このような工事に要する土砂を内陸から供給する場合、土取り場の復元や、運搬途中における環境破壊をひき起こすことが多いため、人の住む内陸を経由せずに利用先へ供給できる石炭灰を利用することは合理的でもある。

以上、極めておおまかな推論ではあるが、ある種のインセンティブを付加するなら石炭灰を利用する市場は意外と大きいことがわかる。しかし、このように大きな市場において実際に石炭灰を利用してゆくためには、技術的な問題以外にも解決されなければならない問題がある。それらの問題点を簡単にまとめると以下のとおりである。

①法制度上の問題

現在、石炭灰の販売は、電力会社が電気事業法で電力事業以外の業務を行なえないため、灰販売を目的とした会社を設立し行なっている。このため、灰処分コストの一部で補填して販売価格を下げることに自ら限界が生じている。また、輸送コストの一部または全部を灰発生者が負担した場合、あるいは石炭灰を無償で利用した場合、石炭灰は商品ではなく単なる産業廃棄物とみなされ「廃棄物処理法」にもとづき処理・処分することが義務づけられ、いわゆる有効利用することができなくなる。この点について、行政側からの本格的な対策が望まれる。

②経済的波及効果

石炭灰の利用は単にそれだけにとどまらず、現在使用されている他の商品と競合せざるをえないであろう。例えば、セメントへの利用を行なう場合石炭灰と似た性格を持つ高炉スラグと競合することが充分考えられる。

高炉スラグは、昭和51年から「スラグ資源化委員会」の努力により、広汎な用途開発が行われ、昭和54年には90%以上の有効利用率を誇っており、昭和54年実績でセメント用に550万ト(同年セメント用に利用された石炭灰は約30万ト)が利用されている。このような市場に参入する場合、セメントの市場動向を良く把握するとともに、電気、鉄鋼およびセメント業界間の十分な調整が必要となるであろう。

③環境への影響

道路材料に利用する場合、灰の飛散および利用後の浸出水による環境影響などまだ研究されなければならない問題が残されている。また、人工島や埋立地造成

などについても同様に水質汚濁や浸出水の影響に留意しなければならない。このように石炭灰を再資源化するにあたっては事前に充分な調査を行ない、環境にマイナスの影響を与えることは避けなければならない。

④安定供給体制の確立

道路建設や人工島・埋立地造成などの土木工事は比較的工事時期がかぎられた時期に集中することが多い反面、それに要する土木材料が大量であるため短期間の大量需要に対応するために貯灰施設を設けるなどの措置が必要であろう。また、品質についても安定したものを供給するために、発生源である発電所において燃焼管理や粒度調整などのきめこまかな品質管理が必要である。

⑤ユーザーへの利用技術の普及・指導

特に道路材料への利用のように新しい利用方法の場合、製品の特長や具体的な使用方法などを積極的に宣伝し、できるだけ早く商品として定着させることが必要である。この点では、イギリスの中央発電局(CEGB)による石炭灰利用アドバイス専門役や石炭灰販売サービス部の設置、文献サービスや宣伝映画を利用した広報活動は見習うべきであろう。

5. む す び

今後、石炭灰を再資源化してゆく視点として、従来行なわれてきた利用方法を進めてゆくことは当然必要であるが、石炭灰中には微量元素が土壌などと比較して高い濃度で含有されていることに着目し、可能なかぎり有価物を回収し、その過程でPHの低下、物性の安定化をはかったのち現在のような土石材料として利用してゆくなどの方法も考えられる。このような、有価物の回収技術としては、海外においてアルミニウムやゲルマニウムなどの回収に成功した例が報告されているが、現状では経済的に成り立たないとされている。とはいえ、今後石炭灰を大量に消費してゆくためには、単一の利用方法で考えるのではなく、複数かつ多方面にわたる用途を組み合わせ、様々な性状の灰を効率的に利用してゆくシステム化された利用を考えてゆくことが必要であろう。また、他の物質と混合することにより石炭灰の素材自体を変えて利用する方法や、砂や礫などにはない物性を見い出して利用することなども考えられるが、このためには、石炭灰の物理的・化学的性質についての体系的な基礎研究が望まれる。