

CIFER・コア「施設見学会」の概要

1. 主旨

CIFER・コアの重点事業である再生材を用いた海域整備事業の参考とするため、日本製鉄(株) 関西製鉄所 和歌山地区を訪問、鉄鋼スラグを利用した人工石の活用状況やブルーカーボンへの取り組みなどの学習のほか、泉州海岸（りんくうタウン）における自然修復事例（2地区）などを訪問しました。

2. 内容

○開催日時 令和6年10月8日（火）10:00～16:00

○主 催 CIFER・コア

○参加人数 40名（うち大阪大学の海外留学生4名）

○見学場所 ①日本製鉄(株)関西製鉄所 和歌山地区
②和歌山下津港船尾南護岸
③養翠園（昼食）
④泉南ロングパーク
⑤りんくう公園



○概要

開会挨拶（バス乗車直後）

CIFER・コア理事長上嶋英機（広島工業大学客員教授）

施設見学会は、CIFER・コア発足当時から続く人気の年間行事であるが、コロナの影響で中止が続いた。本日は5年ぶりに再開できたことを嬉しく思う。見学会では、大阪湾臨海部等における環境修復事業などを訪問し、見聞を広めることを旨としているが、個人的には会員の方々と交流し、それぞれの思いを知ることができる場としても、大変有意義であると思っている。

最初に訪問する日本製鉄(株)はブルーカーボンなど新たな発展に向けて動いており、その現状を視察する。本日の見学会は、日本製鉄(株) 関西製鉄所 和歌山地区の方々にお世話になり、実現した。バスの手配についても特別にお計らいをいただき、心から御礼申し上げます。

① 日本製鉄(株) 関西製鉄所 和歌山地区 製鉄所

CIFER・コア上嶋英機理事長による挨拶



日本製鉄(株)には、CIFER・コアの設立当初から正会員としてバックアップをいただいている。堺市の堺浜におけるカルシア改質土による人工海浜の実験では、CIFER・コアが検討委員会の事務局を務め、長期間にわたり共に取り組んできた。今後、新たな展開を考えると、この実績をどう活かすのかが課題である。日本製鉄(株)ではスラグ材を使ったブルーカーボン事業にも取り組まれている。

CIFER・コアは、海域の整備に再生材を安全・安心に使うことを事業の軸の一つに考えており、ビジネスとしての再生材の活用を、一緒に考えていきたい。

【説明者】日本製鉄㈱ 菅原敬介氏



日本製鉄㈱は鉄を作っているが、鉄鉱石からスチールを製造する工程で出てくるスラグをいかにして製品にするかという仕事を私たちはしている。スラグは廃棄物 (waste) と思われがちだが、副産物 (byproduct) である。製品化されたスラグは、99%は国内外で利用されている。1%はどうしても環境基準に合わず、埋め立て処分を行っている。本日は和歌山工場の紹介やブルーカーボンの取り組みについて説明したい。

関西製鉄所は3つに分かれており、和歌山地区がメインで、高級なシームレス鋼管などを造っている。此花には製鋼所があり、全国100%シェアの鉄道用車輪・車軸や鍛造クランクシャフトを製造している。尼崎では原子炉に使うような高級な特殊管も製造している。堺では鋼矢板などを造っている。関西製鉄所は、直営で5,200名、協力会社で11,781名の体制である。

和歌山製鉄所では約260万tの鉄を作っているが、スラグは120万t、東京ドーム半分くらいが毎年出てくる。これをいかにして活用、販売していくかが課題である。

【説明者】日本製鉄㈱ 西條裕菜氏



日本製鉄㈱では、気候変動対策に対する取り組みとして「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050」を掲げている。日本のセクター別CO₂排出量は鉄鋼業が15%、当社が9%を排出している。鉄は他素材に比べると生産単位あたりのCO₂排出量は少ないものの、用途が広く、大量に使用されるために総量が多くなっている。排出削減のシナリオとしては、2030年までに2013年と比べて排出量30%減を実現し、2050年にカーボンニュートラルを目指す。

自然界において鉄は鉄鉱石 (酸化鉄) として存在する。鉄鋼製品を作るには、ここから酸素を除去 (還元) する必要があり、これに石炭 (炭素) を使うことにより、CO₂が発生する。このため、この還元プロセスに炭素ではなく水素を使用できないか (H₂Oが発生) という検討や、鉄鉱石からでなく、既に鉄となっている鉄スクラップから鉄製品を製造できないかということを検討し、技術開発を行っている。

この技術として、鉄スクラップから品質の高い製品を作る「大型電炉での高級鋼製造」、高炉で使用する石炭の50%を水素に置き換える「SuperCOURSE50」、完全にCO₂を排出しない「100%水素直接還元プロセス」などが考えられている。それでも出てしまうCO₂については、再利用や貯蔵・固定を行っており、固定の技術の一つとして、鉄鋼スラグを活用したブルーカーボンへの取り組みがある。

スラグには複数の種類があり、まず大きく金属製造工程起源のスラグと廃棄物加熱溶融起源のスラグがある。金属製造工程起源のスラグのうち、鉄を製造する際に出るスラグを鉄鋼スラグと言い、日本製鉄㈱で製造しているスラグ製品は、これを使用している。鉄鋼スラグには更に、鉄鉱石から銑鉄を作る際に発生する高炉スラグ、銑鉄から鋼を製造する際に発生する製鋼スラグがある。高炉スラグは鉄を1t作る時に300kg生成され、製鋼スラグは鋼を1t製造するのに約100kg生成される。また、高炉スラグは冷やす過程によって水砕スラグと徐冷スラグに分類される。水砕スラグ、徐冷スラグ、製鋼スラグの共通の特徴としては、粒状であり、カルシウムやシリカを主成分としていること、化学組成はセメントに類似しており、セメントと同程度の強アルカリ性を示すことなどがある。また製鋼スラグは鉄分を含むといった特徴がある。

製鋼スラグ製品の製造プロセスとしては、製鋼工場から運搬した熔融スラグを冷却ヤードに流し込み、冷却する。次に、プラントにてスラグを破碎・粒度調整・磁選を行う。製鋼スラグは水と反応して膨張する性質があるため、製品となる前に水と反応させておき、製品の膨張を防ぐエージング処理を行う。こうして製造した製品は出荷前に品質検査を行い、重金属については環境に問題のないことを確認して出荷される。

製品の用途としては、建設工事用のセメントや道路用路盤材といったものがある。スラグにはシリカやリンが含まれているため、肥料原料としても使用されている。鉄鋼スラグの使用状況としては、一部（0.6%）は埋め立て処理されているが、ほぼすべてが有効活用されている。約半数がセメント用、1/4が道路用路盤材として利用されている。

近年、海中に溶けたCO₂を海藻・海草の光合成によって吸収・貯蔵するブルーカーボンが重視されており、日本製鉄㈱では、2004年から鉄鋼スラグを用いた藻場養成活動「海の森づくり」を実施している。鉄鋼スラグ製品を用いた海洋環境改善技術として、軟弱浚渫土改良材としてのカルシア改質材、鉄鋼スラグを原料とした水和固化体製人工石、海藻へ鉄分を供給するピバリーユニットの技術がある。

カルシア改質技術だが、河川や港湾の浚渫土はそのままでは軟弱で使用しにくいというえ、廃棄場所が限られている。しかし、浚渫土に鉄鋼スラグ製品であるカルシア改質材を混合することで、浚渫土のシリカ分とカルシア改質材のカルシウム分が結合し、軟弱な浚渫土の強度が改善され、海中投入時の濁りも抑制される。カルシア改質技術は、海底窪地の埋め戻しや浅場・干潟の形成、埋立てなどに使用されている。施工事例としては、北海道函館港泊地の水中盛土工事で一工区5万m³の実績がある。全国では150万m³の使用実績があり、広く港湾工事に使用されている。

鉄鋼スラグを原料とした水和固化体製人工石については、コンクリートに使用するセメントや碎石の代わりに、鉄鋼スラグを使用することで、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石を製造することができる。人工石は天然石の代替品として港湾工事や漁礁に使用される。副産物のスラグを使用することで、天然原料の使用を抑制することができる。製造フローについては、まず、原料の鉄鋼スラグや高炉スラグ微粉末をコンクリートミキサーで練り混ぜる。これを型枠に流し込み、打設する。ある程度固まった時点で条切を行い、完全に固まるまで養生を行う。固まりきったところで破碎し、完成となる。完成した人工石は主に海域の工事で使用される。特徴としては、「準硬石の割栗石の規格を満たす」「高炉セメントを用いることでアルカリが抑制される」「生物の着生性は天然石と同等以上である」ということである。

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石は、一般財団法人沿岸技術センターにて技術認定、マニュアル化されており、日本製鉄㈱では、このマニュアルに従って製造・管理を行っている。この人工石は、全国の港湾工事で採用されている。関西製鉄所で製造する人工石は、天然資源の高騰に伴い出荷量が増加しており、2024年度は28,000m³の製造出荷を予定している。使用事例では、高知港高潮対策工事の基礎捨て石としての施工や、高知県黒潮町灘地区投石漁礁設置工事などの事例がある。

海中に鉄分を供給するピバリーユニット開発の背景には、磯焼けがある。要因の一つとして、リン・窒素・鉄等の海中の栄養塩の不足がある。「沿岸の鉄仮説」というものがあり、元来、土壌中の鉄イオンが腐植酸と結合して海に供給されていたのが、開発やダム建設により供給が減少、沿岸域が鉄不足になっているという説である。鉄不足の海域に鉄鋼スラグを活用した腐植酸鉄を供給する技術がピバリーユニットである。鉄イオンは、水中溶存酸素と結びついて不溶態化するのので、鉄鋼スラグを入れただけでは鉄は供給されない。そこで、鉄鋼スラグを腐植酸と混合し、溶存態である腐植酸鉄とすることで、

海中に鉄イオンを供給するという技術を開発した。ビバリーユニットは山などの陸域から鉄イオンが供給される仕組みを再現している。製造方法と使用方法だが、まずpHを下げるために炭酸化する。炭酸化したスラグと腐植物質を混合してビバリーユニットを製造する。ビバリーユニットを麻袋に詰めた状態をビバリーバッグと呼び、ビバリーバッグのみを海岸に埋設したり、大型土嚢袋に入れて海底に沈設したり、人工石とバッグを金網で梱包し沈設して使用している。

日本製鉄㈱ではブルーカーボンクレジットの取得にも取り組んでいる。2023年には21海域で藻場造成を実施したが、そのうち3か所で、計33.3tのCO₂吸収量が認定された。具体的な取得例としては、北海道増毛町で行った昆布の藻場造成である。増毛漁協と共同で、2014年から取り組んでおり、ビバリーユニット45tを海岸線270mに埋設し、当初0.6haであった藻場は、2022年には3.3haまで拡大した。直近5年間では、49.2tのCO₂吸収量が認定された。関西製鉄所では、和歌山県東湯浅郡智支所でビバリーユニットの施工を行っている。施工は2023年11月、海岸を1mほど掘り下げ、ビバリーバッグを設置。その後埋め戻して元の状態を復旧した。4か月後、敷設を行った周辺の岩礁に布海苔やひじきが繁茂している様子が確認された。効果を検証するため、この海域で10年にわたり調査を継続する予定である。

【質問】 飯田技術士事務所 飯田毅氏

鉄鋼スラグ製品が鉄イオンを溶出して海藻などの生物の育成に効果があるとのことだが、効果についてどの程度具体的に分かっているのか。数値化できるものがあるか。

一菅原氏

一番の目的は漁獲高が増えることである。例えば姫路網干地区の浅場化では、漁業者の獲った魚について重量などを測っている。人工石やカルシア改質土を海洋に投入すれば、魚の好む隙間ができたり、日の当たりやすい浅場ができたりすることで一定の環境改善効果は出る。このため、鉄イオンだけの効果について測ることは難しい。海洋環境において鉄がどれだけの効果を持っているかもよく分かっていないので、始めの調査からの変化や対照区との比較でしか説明できない。

【質問】 CIFER・コア 久保忠義 参与

ブルーカーボンクレジット取得への取り組み表では21海域で藻場造成を実施されているが、このうち、ブルーカーボンクレジットを取得されたのは3か所である。クレジット取得には手間や費用が掛かるため3か所に絞っていると考えるが、他の海域でも藻場等効果は出ているのですね。

一菅原氏

ビバリーユニットは認知度が低いため、お試して施工し、良ければ使ってもらおうというのが目的。カーボンクレジットは調査項目が多く、時間もコストもかかるので初めから場所を限定している。他の海域は申請していないが、入れれば確実に藻が付き、魚が増えている。

2023年に21海域(355t)で藻場造成を実施(★は新規)

都道府県	場所	担当事業	埋設量	施工完了時期	クレジット認定量	減排面積	
北海道	増毛町 増毛町	増毛漁業協同組合	50 t	2023年12月	12.2t-CO ₂	19.56ha	
	古平町 旧村	古平町漁業協同組合	20 t	2023年11月			
	古平町 五平町	増毛町漁業協同組合	15 t	2023年12月			
	網走町	網走漁業協同組合	30 t	2023年12月	8.5t-CO ₂	8.35ha	
	八雲町 新石	八雲町漁業協同組合	5 t	2023年11月			
	網走町	★ 網走、中津川漁業協同組合	15 t	2023年12月	★		
	網走町	★ 網走、網走漁業協同組合	15 t	2023年12月			
	網走町	★ 網走漁業協同組合(網走地区)	5 t	2023年9月			
	網走町	★ 増毛、増毛漁業協同組合(増毛地区)	15 t	2023年8月			
	網走町	★ 八雲町漁業協同組合(網走地区)	20 t	2023年12月			
宮城県	亶土町	宮城県漁業協同組合(亶土町)	40 t	2023年9月	12.6t-CO ₂	4.73ha	
千葉県	君津市	千葉県漁業協同組合(君津市)	20 t	2023年8月			
兵庫県	赤松町 赤松町	兵庫県漁業協同組合(赤松町)	30 t	2023年12月	★		
和歌山県	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	15 t	2023年12月			
	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	15 t	2023年12月			
	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	10 t	2023年12月			
	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	10 t	2023年12月			
	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	10 t	2023年12月			
	新宮町 新宮町	和歌山県漁業協同組合(新宮町)	10 t	2023年12月			
	和歌山県	和歌山県	和歌山県	10 t			2023年12月
	和歌山県	和歌山県	和歌山県	10 t			2023年12月
	和歌山県	和歌山県	和歌山県	10 t			2023年12月
	和歌山県	和歌山県	和歌山県	10 t	2023年12月		
合計			355 t		33.3t-CO ₂	32.64ha	

【質問】CIFER・コア 池田昌博 特別研究員

電炉を使うことでCO₂の排出が削減できるというのはどのようなロジックか。

一菅原氏

鉄鉱石から石炭を使って鉄を1t作ると、CO₂が2t出る。電炉では、鉄鉱石でなく鉄スクラップを原料とするため、溶かすために必要なCO₂は出るが、還元の際に排出されるCO₂は圧倒的に抑えられる。ただし、市中の鉄スクラップを集めて使うので不純物が多い。このため、高級鋼板のようなハイエンドの製品はまだ製造することができない。

【質問】CIFER・コア理事長 上嶋英機

成果を定量的に示せばよいと思うが、海藻などの生物は増加量が一定でなく、評価が難しい。増毛町の事例のように藻場が拡大していくことを計算で示せると使いやすいのだが。なんとなく成果があるようだということだけでなく、具体的な成果、仕様を作っていくことが必要だと思う。

一菅原氏

生態系として考えると、藻場ができることによって魚が集まり、産卵し、他の場所にも広がっていくということを長期的に調べ、示せば非常に良いと思う。

② 和歌山下津港船尾南護岸

護岸に鉄鋼スラグ水和固化体製人工石が使用されている下津港海岸を見学しました。人工石は一個あたり1000kg、圧縮強度9.8N/mm²以上、護岸の洗掘防止のための被覆石として使用されています。被覆石には一般的に天然石を使用するが、国土交通省近畿地方整備局の判断で地産地消の人工石も選択肢に入り、結果的に日本製鉄株の人工石が採用されました。



2021～2022年に施工された藤白工区。被覆石のうち写真右側の白っぽい石材が水和固化体人工石、赤や黄みがかったものが天然石



南海トラフ地震を想定した約8mの防潮堤を建設中。裏込材には高炉水砕スラグを使用。

③ 養翠園

養翠園は紀州徳川家第十代藩主徳川治寶により造営された約33,000㎡の大名庭園。江戸時代の環境創造の好例として見学しました。また、今回は特別に養翠亭内で昼食を頂けることになりました。食後は、語り部クラブの畑氏、草野氏の案内で庭園を散策しました。



④ 泉南ロングパーク（マールビーチを望んで）

【説明者】CIFER・コア理事 横山隆司



正面に関西国際空港の連絡橋とゲートタワービルが見えるが、あそこからサザンビーチまでが新しい埋立地である。そのうち大部分の護岸を緩傾斜にし、表面に3~8cmの大理石を敷き詰めている。大理石は台湾と中国から調達している。砂浜を造成する際、通常は砂が流れないように海面に突出する離岸堤を作るのが一般的だが、ここでは空港を望むのに景観が悪いということに加えて、水流が止まることによる水質の悪化を防ぐため、離岸堤ではなく緩傾斜護岸方式とした。勾配は非常に緩やかな1:15にし、玉石が動くときに波のエネルギーを吸収する効果がある。世界的にも珍しい構造となっている。海岸の景観が整ったことでアウトレット、イオンモール、グラピング施設などを誘致することもできた。



【質問】

波によって玉石が流され、補充が必要になることはないのか。

—横山

玉石の大きさは模型実験をし、玉石は動くが補充しなくても良い構造になっている。流されるよりも陸側に堆積傾向になるという結果が出ている。実際、現地では石が盛り上がり、時々均さなければいけない。埋め立てで自然が破壊される分、環境修復をしようという事例である。

⑤ りんくう公園

【説明者】CIFER・コア理事 横山隆司

養翠園で汐入の日本庭園を見ていただいたが、ここも汐入の浜になっている。小さいが砂浜もあり、養翠園や東京の浜離宮を参考に近代的な風景にマッチした庭園を造ろうと設計された。現在整備から約30年が経つので、太鼓橋は板の張替えをしている。この太鼓橋は、日本の寺や山口県の錦帯橋などを模した構造となっている。汐入の池はCIFER・コアの大塚理事が長年フィールドにしており、池の生物の変遷などを調査されている。整備から30年が経過し、松も育ち、現在では立派な公園になっている。



閉会挨拶

CIFER・コア副理事長 矢持進（大阪市立大学名誉教授）



本日は5年ぶりの施設見学会の開催となったが、初めて海外からの留学生が参加し、団体名でもある「国際人材育成」とおり、国際的な交流を持つことができた。施設見学会は、CIFER・コアとして会員の皆様に提供できる数少ないオフアであるため、これからも可能な限り続けたいと思っている。遠い場所の見学は難しいが、関西圏であれば足を延ばしても良いと思うので、皆様には是非、今後ご参加をいただきたい。

◆事務局より

CIFER・コア施設見学会は、令和元年にクロマグロの完全養殖に成功した和歌山県白浜町の近畿大学水産研究所を見学して以来5年ぶりで、シームレスパイプなどの製造で有名な日本製鉄(株) 関西製鉄所 和歌山地区の訪問から再開しました。同社が進めるブルーカーボンづくり・人工石による津波防災対策は、豊かな海づくりでもあり、沿岸の命を守るものでもあることを今回実感できました。

日本製鉄(株) 関西製鉄所 資源化推進部の菅原部長は、「スラグは廃棄物(waste)と思われがちだが、副産物(byproduct)である。」と断言されました。コストをかけて輸入した鉄鉱石・石炭から生まれたスラグは廃棄物ではなく、副産物として活用し尽くすことは日本の生きる道なので、企業の技術開発を期待するだけでなく、CIFER・コアも行政や漁業者などの理解促進に務めたいと思います。JR海南駅に近い下津港船尾南護岸の高さ8mの防潮堤を見て、日本の海岸にこんな巨大な防潮施設がどれほど必要なのかと考え込みました。近くを通る際にはぜひ見て欲しいものです。

急な強風のため、泉南サザンビーチからマーブルビーチを望遠したあと、やや風の治まったりんくう公園を歩きました。約30年前に初めてマーブルビーチを歩いた時には、裸足では石が熱く、玉石は歩きにくく、人もまばらでしたが、横山理事の説明で、空港を望む景観や防災、メンテナンスにも配慮したものであることが理解できました。今やグランピング、バーベキューなどの施設で賑わっています。また、りんくう公園は、養翠園や東京の浜離宮を参考に近代的な風景にマッチした庭園として設計されたと聞きました。芝生の公園だけでなく、和風庭園は心休まるものなのでインバウンド客にも好評だと思えます。

今回は国際人材育成として、マレーシア、バングラディッシュ、ケニア、パラグアイの留学生が参加しま

した。地理的に遠く離れた国に住む4人がともに見学する姿は不思議ですが、交流は平和の第一歩です。日本語の堪能な留学生に対し、いくら英語学習しても最初の一言が出ないのが悔しいので秘策をご教示ください。

「百聞は一見にしかず」といいますが、そこに専門家の解説が入れば言うことはありません。また、見学会は知識や発想が広がるだけでなく、人の輪が広がります。アフター5を待望する方も多いでしょう。事務局としても見学先の発掘に努めますので、多くの方のご参加をお待ちします。