

1. 方法論タイトル

「メタカオリン含有人工ポゾラン混和材を適用した低炭素コンクリート普及による二酸化炭素排出削減」

2. 方法論適用プロジェクトの概要

コンクリートの原材料となるセメントの一部を、工業副産物等を使用したメタカオリン含有人工ポゾラン混和材（MKP）で置換することにより、「低炭素コンクリート」を製造する。それにより、コンクリート性能を改善すると同時に、セメント製造時に原材料の石灰石に含まれる炭酸カルシウムの化学変化によって発生する二酸化炭素の排出量を削減する。また、焼成温度を下げることによって焼成に用いる燃料の使用量を削減し、それに伴う二酸化炭素の排出量を削減する。

3. 用語の定義

用語	定義
セメント	ポルトランドセメント及び、フライアッシュセメント、高炉セメント等の混合セメントの総称。
MKP	メタカオリン含有人工ポゾラン混和材（Meta Kaolin based artificial Pozzolan admixture）の略称。ボタを主原料とし、他の工業副産物等を副原料としたメタカオリン($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)を含有するコンクリート用混和材であり、ポゾラン反応性を有し、コンクリートやモルタル等のセメント材料に混和して、当該材料の特性を改良するもの。
ポゾラン反応	コンクリート製造時において、ポゾラン（シリカ： SiO_2 、アルミナ： Al_2O_3 等）を主成分とするセメント混合物が、常温において水の存在のもと水酸化カルシウムと化合し、結合能力をもつ化合物を生成する現象。
工業副産物	本方法論においては、ボタ、フライアッシュ、高炉スラグの全部またはいずれかを指す。
ボタ	工業副産物の1つであり、石炭採掘の選炭過程において、熱量が低いために石炭とみなされず除外される捨石。

用語	定義
フライアッシュ	工業副産物の1つであり、火力発電所等で微粉炭を燃焼させた時の廃ガス中に含まれる球形微粒の石炭灰。煙道から集塵装置で捕集し、コンクリートの混和剤として利用。ポゾランの一種で、粒子がなめらかでコンクリートの流動性を改善し、強度、耐久性、水密性を増大する。
高炉スラグ	工業副産物の1つであり、鉄鋼製造過程において、高炉で銑鉄を作る際に発生する乾燥微粉末。セメントのアルカリ刺激で硬化する潜在水硬性を有し、主にコンクリートに混入して使用する。
クリンカ	セメントの製造過程において、石灰石、粘土、珪酸原料、酸化鉄原料等のセメントの原料を、ロータリーキルン等の焼成窯の中で1,500℃程度まで昇温焼成しその後急冷したもので、こぶし大の塊となったもの。これに石膏を加え粉砕することで、セメントを製造する。
クリンカセメント比	セメント単位重量の製造に投入するクリンカ重量の比率。
型枠存置期間	コンクリート工事におけるコンクリート打設から型枠解体までの期間。型枠を解体しても品質に悪影響を与えないだけのコンクリート強度が発現する日数によって決まる。
コンクリート製造場所	セメントあるいはMKPを使用したコンクリートを製造する、コンクリート製造場所、コンクリート二次製品工場、建設工事現場

4. 適格性要件

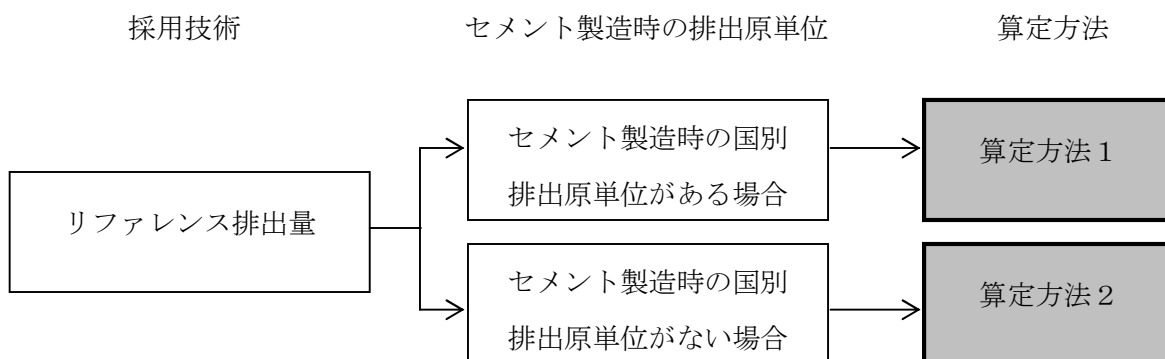
本方法論は、以下の要件をすべて満たすことができるプロジェクトに適用することができる。

	内容	チェック
条件1	【MKPの製造方法】 MKPが、ボタを主原料として、MKP製造のために人工的な焼成・冷却が施されて製造されたものであること。	
条件2	【MKPの用途】 MKPが、低炭素コンクリート製造原料として、セメントを代替して使用されていること。	
条件3	【低炭素コンクリートの性能】 低炭素コンクリートが、圧縮強度及び耐塩害性能において、MKPを使用せずに製造されたコンクリートと比較して、客観的に同程度以上の性能を持つことを証明できること。	
条件4	【低炭素コンクリートによる工事期間】 低炭素コンクリートの型枠存置期間が、MKPを使用せずに製造されたコンクリートの型枠存置期間と比較して客観的に同程度であり、工事期間に影響を及ぼ	

	内容	チェック
	さないことを証明できること。	

5. 算定方法の選択

プロジェクト実施者は、以下のフローチャートにしたがって、リファレンス排出量を算定する。



6. 排出源と GHG のタイプ

事業の範囲における GHG 排出源並びに GHG のタイプは以下のとおり。

リファレンス排出量	
排出源	GHG のタイプ
クリンカ焼成プロセスにおける燃料消費により発生する GHG 排出	CO ₂
セメント製造プロセスにおける電力消費により発生する GHG 排出	CO ₂
クリンカ焼成プロセスにおける原材料中の炭素成分の CO ₂ 化により発生する GHG 排出	CO ₂
プロジェクト排出量	
排出源	GHG のタイプ
MKP の原材料焼成プロセスにおける燃料消費により発生する GHG 排出	CO ₂
MKP の製造プロセスにおける電力消費により発生する GHG 排出	CO ₂
MKP の原材料焼成プロセスにおける原材料中の炭素成分の CO ₂ 化により発生する GHG 排出	CO ₂

7. リファレンス排出量の設定とその算定

リファレンス排出量は、プロジェクトにおいて MKP によって代替される量と同量のセメントを製造する際に排出される量として計算する。

ここでは、セメント製造時の国別排出原単位が存在する場合には「算定方法 1」を採用し、存在しない場合には「算定方法 2」を採用する。

算定方法 1（デフォルト値を使用）

$$RE_y = CE * (1 - TR) * C_y$$

但し

RE_y : y 年におけるリファレンス排出量 [t-CO₂/y]

CE : プロジェクト実施の当該国におけるセメント製造時の排出原単位 [t-CO₂/t-cement]
（「11. データ・パラメータ (1) リファレンス排出量」参照）

TR : CE のうち輸送に起因する排出割合 [-]
（「11. データ・パラメータ (1) リファレンス排出量」参照）

C_y : y 年におけるセメント代替量 [t-cement/y]

算定方法 2（計算による積み上げ）

$$RE_y = RE_{f,y} + RE_{e,y} + RE_{c,y}$$

但し

RE_y : y 年におけるリファレンス排出量 [t-CO₂/y]

RE_{f,y} : y 年におけるリファレンス排出量（燃料の燃焼） [t-CO₂/y]

RE_{e,y} : y 年におけるリファレンス排出量（電力の消費） [t-CO₂/y]

RE_{c,y} : y 年におけるリファレンス排出量（焼成による脱炭酸） [t-CO₂/y]

$$RE_{f,y} = (RCV * EF_f * CC) * C_y$$

但し

RE_{f,y} : y 年におけるリファレンス排出量（燃料の燃焼） [t-CO₂/y]

RCV : クリンカ製造時の投入熱量 [GJ/t-clinker]

EF_f : クリンカ製造時使用燃料の CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/GJ]

CC : クリンカセメント比 [t-clinker/t-cement]

C_y : y 年におけるセメント代替量 [t-cement/y]

$$RE_{e,y} = (REC * EF_e) * C_y$$

但し

$RE_{e,y}$: y年におけるリファレンス排出量（電力の消費） [t-CO₂/y]

REC : セメント製造時の投入電力量 [kWh/t-cement]

EF_e : 電力の CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/kWh]

C_y : y年におけるセメント代替量 [t-cement/y]

$$RE_{c,y} = (EF_c * CC) * C_y$$

但し

$RE_{c,y}$: y年におけるリファレンス排出量（焼成による脱炭酸） [t-CO₂/y]

EF_c : クリンカ単位重量あたりの脱炭酸による CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/t-clinker]

CC : クリンカセメント比 [t-clinker/t-cement]

C_y : y年におけるセメント代替量 [t-cement/y]

$$C_y = P_y$$

C_y : y年におけるセメント代替量 [t-cement/y]

P_y : y年における MKP 使用量 [t-MKP/y]

8. プロジェクト排出量とその算定

プロジェクト排出量は、プロジェクトにおいて MKP を製造する際に排出される量として計算する。

$$PE_y = PE_{f,y} + PE_{e,y} + PE_{c,y}$$

但し

PE_y : y 年におけるプロジェクト排出量 [t-CO₂/y]

$PE_{f,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (燃料の燃焼) [t-CO₂/y]

$PE_{e,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (電力の消費) [t-CO₂/y]

$PE_{c,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (焼成による脱炭酸) [t-CO₂/y]

$$PE_{f,y} = (PFC * PCV * EF_f) * P_y$$

但し

$PE_{f,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (燃料の燃焼) [t-CO₂/y]

PFC : MKP 製造時の投入燃料量 (A 重油) [kl-fuel/t-MKP]

PCV : MKP 製造時使用燃料 (A 重油) の単位発熱量 [GJ/kl-fuel]

EF_f : MKP 製造時使用燃料 (A 重油) の CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/GJ]

P_y : y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]

$$PE_{e,y} = (PEC * EF_e) * P_y$$

但し

$PE_{e,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (電力の消費) [t-CO₂/y]

PEC : MKP 製造時の投入電力量 [kWh/t-MKP]

EF_e : 電力の CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/kWh]

P_y : y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]

$$PE_{c,y} = (PWC_{cw} * EW_{cw} + PWC_{cc} * EW_{cc}) * P_y$$

但し

$PE_{c,y}$: y 年におけるプロジェクト排出量 (焼成による脱炭酸) [t-CO₂/y]

PWC_{cw} : MKP 製造時のボタ投入量 [t-coal waste/t-MKP]

EW_{cw} : ボタのガス化炭素量 (CO₂ 換算) [t-CO₂/t-coal waste]

PWC_{cc} : MKP 製造時の炭酸カルシウム投入量 [t-calcium carbonate/t-MKP]

EW_{cc} : 炭酸カルシウムのガス化炭素量 (CO₂ 換算) [t-CO₂/t-calcium carbonate]

P_y : y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]

9. リークージ排出量とその算定

通常のセメント製造、その一部代替となる MKP の製造ともに、一般的な事業形態として、原材料の調達地の近傍に立地する。従って、セメントと MKP の原材料からその製造場所までの輸送に関して、リファレンスとプロジェクトとの間には有意な差はない。

本方法論に基づくプロジェクトでは、セメントまたは MKP のコンクリート製造場所（通常はセメントと水と砂・砂利等を混ぜて製造）までの輸送について比較する。

$$RT = \sum (RD_i * TEF_i)$$

$$PT = \sum (PD_j * TEF_j)$$

但し

RT : セメントのコンクリート製造場所までの輸送に伴う CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/t-cement]

PT : MKP のコンクリート製造場所までの輸送に伴う CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/t-MKP]

i : MKP により代替されるセメントのコンクリート製造場所への輸送方法

j : MKP のコンクリート製造場所への輸送方法

RD_i : 輸送方法 i に伴う輸送距離 [km]

PD_j : 輸送方法 j に伴う輸送距離 [km]

TEF_i : 輸送方法 i に伴う CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/km*t-cement]

TEF_j : 輸送方法 j に伴う CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/km*t-MKP]

PT > RT の場合 :

$$LE_y = (PT - RT) * P_y$$

PT ≤ RT の場合 :

$$LE_y = 0$$

但し

LE_y : y 年におけるリークージ排出量 [t-CO₂/y]

RT : セメントのコンクリート製造場所までの輸送に伴う
CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/t-cement]

PT : MKP のコンクリート製造場所までの輸送に伴う CO₂ 排出原単位 [t-CO₂/t-MKP]

P_y : y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]

10. 排出削減量の算定

$$ER_y = RE_y - PE_y - LE_y$$

但し

ER_y : y年における排出排出量 [t-CO₂/y]

RE_y : y年におけるリファレンス排出量 [t-CO₂/y]

PE_y : y年におけるプロジェクト排出量 [t-CO₂/y]

LE_y : y年におけるリーケージ排出量 [t-CO₂/y]

リーケージ排出量については、以下の方法により計上の有無や計上方法を選定する（「J-クレジット制度」における取り決めに準拠）。

$LE_y < (RE_y - PE_y) * 1\%$ の場合：

$LE_y = 0$ （無視できるものとみなす）

$(RE_y - PE_y) * 1\% \leq LE_y < (RE_y - PE_y) * 5\%$ の場合：

LE_y を「9.」に基づき計上する。

但し、プロジェクト実施前の計算による $LE_y / (RE_y - PE_y)$ の値を固定値とし、プロジェクト実施中に渡り適用する（モニタリングを行わない）。

$LE_y \geq (RE_y - PE_y) * 5\%$ の場合：

毎年のモニタリングを行い、それに基づき、 LE_y を計算する。

11. データ・パラメータ

(1) リファレンス排出量

①セメント製造時の CO₂ 排出原単位（算定方法 1：デフォルト値）

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
CE	プロジェクト実施の当該国におけるセメント製造時の排出原単位 [t-CO ₂ /t-cement]	WBCSD の当該国データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
TR	CE のうち輸送に起因する排出割合 [-]	5%のデフォルト値を用いる。	WBCSD “Toward a Sustainable Cement Industry” (March 2002) によると、全世界での同値は 5%未満であり、本方法論では、保守性を担保するため、5%をデフォルト値として採用する。

②クリンカ焼成プロセスにおける燃料消費による排出量（算定方法 2：計算による積み上げ）

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
RCV	クリンカ製造時の投入熱量 [GJ/t-clinker]	WBCSD の当該国データ（ない場合には世界共通データ）について報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
EF _f	クリンカ製造時使用燃料の CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /GJ]	IPCC の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
CC	クリンカセメント比 [t-clinker/t-cement]	IEA の当該国データ（ない場合には世界共通データ）について報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
P _y	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

③セメント製造プロセスにおける電力消費による排出量（算定方法2：計算による積み上げ）

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
REC	セメント製造時の投入電力量 [kWh/t-cement]	WBSCD の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
EF _e	電力の CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /kWh]	当該国政府が公表した CDM の Combined Margin (CM) について報告時の最新値を確認する。ない場合には、CDM の排出係数算定ツールに従い、CM を計算する。	最新値の確認
P _y (再掲)	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

④クリンカ焼成プロセスにおける原材料中の炭素成分の CO₂ 化による排出量

（算定方法2：計算による積み上げ）

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
EF _c	クリンカ単位重量あたりの脱炭酸による CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /t-clinker]	WBSCD の欧州地域データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
CC (再掲)	クリンカセメント比 [t-clinker/t-cement]	IEA の当該国データ（ない場合には世界共通データ）について報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
P _y (再掲)	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

(2) プロジェクト排出量

①MKP の原材料焼成プロセスにおける燃料(A 重油)消費による排出量

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
PFC	MKP 製造時の投入燃料量 (A 重油) [kl-fuel/t-MKP]	製造日ごとに MKP の生産量及びその日の燃料使用量を毎日記録する。	毎日のデータ確認
PCV	MKP 製造時使用燃料 (A 重油) の単位発熱量 [GJ/kl-fuel]	IPCC の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
EF _f	MKP 製造時使用燃料 (A 重油) の CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /GJ]	IPCC の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
P _y (再掲)	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

②MKPの製造プロセスにおける電力消費による排出量

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
PEC	MKP 製造時の投入電力量 [kWh/t-MKP]	製造日ごとに MKP の生産量及びその日の電力使用量を毎日記録する。	毎日のデータ確認
EF _e (再掲)	電力の CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /kWh]	当該国政府が公表した CDM の Combined Margin (CM) について報告時の最新値を確認する。ない場合には、CDM の排出係数算定ツールに従い、CM を計算する。	最新値の確認
P _y (再掲)	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

③MKPの原材料焼成プロセスにおける原材料中の炭素成分のCO₂化による排出量

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
PWC _{cw}	MKP 製造時のボタ投入量 [t-coal waste/t-MKP]	使用量を毎日記録する。	毎日のデータ確認
EW _{cw}	ボタのガス化炭素量 (CO ₂ 換算) [t-CO ₂ /t-coal waste]	20 トンを 1 ロットとし、原材料受入ロットごとに、ランダムに 4 箇所×5 kg=20kg のサンプリングを行い、ロット毎の全サンプル(20kg/ロット)を用いた縮分を行い、元素分析によって炭素量を測定する。(※1 補足)	縮分方法は JIS Z 8833:2001 (粒子特性を評価するための粉体材料の縮分)に準拠する。
PWC _{cc}	MKP 製造時の炭酸カルシウム投入量 [t-calsium carbonate/t-MKP]	使用量を毎日記録する。	毎日のデータ確認
EW _{cc}	炭酸カルシウムのガス化炭素量 (CO ₂ 換算) [t-CO ₂ /t-calcium carbonate]	受入時に成分表を確認・記録する	受入の都度確認
P _y (再掲)	y 年における MKP 出荷量 [t-MKP/y]	出荷量を毎日記録する。	毎日のデータ確認

(3) リークージ排出量

パラメータ	内容	モニタリング方法・頻度	品質管理/品質保証
i	MKP により代替されるセメントのコンクリート製造場所への輸送方法	セメント、建設業関係者へのヒアリングにより確認する。	ヒアリングによる確認
j	MKP のコンクリート製造場所への輸送方法	事業者のコンクリート製造者との契約により確認する。	必要時の契約書での確認
RD _i	輸送方法 i に伴う輸送距離 [km]	セメント、建設業関係者へのヒアリングにより確認する。	ヒアリングおよび地図での確認
PD _j	輸送方法 j に伴う輸送距離 [km]	事業者のコンクリート製造者との契約により確認する。	必要時の契約書および地図での確認
TEF _i	輸送方法 i に伴う CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /km*t-cement]	IPCC の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認
TEF _j	輸送方法 j に伴う CO ₂ 排出原単位 [t-CO ₂ /km*t-MKP]	IPCC の世界共通データについて報告時の最新値を確認する。	最新値の確認

※1 ボタのサンプリングについて（補足）

通常、石炭の各調達ロットについては、炭鉱および採掘条件（炭層等）が同一である。また、本方法論を用いたプロジェクトにおいては、同一ロットの石炭から選炭を経て排出されたボタを輸送のため小口化して各ロットとして受け入れる。そのため、原理的に、ボタの組成のばらつきは、その生成元である石炭の組成のばらつきと同程度である。

従って、ここでは、通常の事業において石炭を受け入れる際に行うサンプリング方法と、本方法論を用いたプロジェクトにおいてボタを受け入れる際に行うサンプリング方法とが同水準であればよい。

サンプリング後は、JIS Z 8833:2001（粒子特性を評価するための紛体材料の縮分）に従い、縮分を行う。

調達資源	サンプリング方法	サンプリングの確実性
石炭	船からの荷揚量（2万トン）から、ランダムに200回×90kgのサンプリングを行う。 【商習慣】	$200 \text{ 回} \times 90 \text{ kg} / 2 \text{ 万トン} = 0.09\%$
ボタ	トラックからの受入量（20トン/ロット）から、ランダムに4箇所×5kg=20kgのサンプリングを行う。 【本方法論】	$4 \text{ 箇所} \times 5 \text{ kg} / 20 \text{ トン} = 0.10\%$ (上記0.09%より大きい)