

**二国間クレジット制度(JCM)実現可能性調査**

**「セメント焼成工程における農業系バイオマスによる石炭代替」**

**(ラオス人民民主共和国)**

**最終報告書(詳細編)**

平成 27 年 3 月 2 日

太平洋エンジニアリング株式会社

## 目 次

1. 調査の背景	3
(1) ホスト国の JCM に対する考え方	3
(2) 企画立案の経緯・背景	5
2. 調査対象プロジェクト	6
(1) プロジェクトの概要	6
(2) ホスト国における状況	10
(3) プロジェクトの普及	10
3. 調査の方法	11
(1) 調査実施体制	11
(2) 調査課題	12
(3) 調査内容	13
4. プロジェクト実現に向けた調査	28
(1) プロジェクト計画	28
参考 Lao Cement Van Vieng 工場の現状	32
(2) プロジェクト許認可取得	47
(3) 日本技術の優位性	47
(4) MRV 体制	56
(5) ホスト国の環境十全性の確保と持続可能な開発への寄与	61
(6) 今後の予定及び課題	63
(5) JCM 方法論作成に関する調査	64
(1) 適格性要件	64
(2) リファレンス排出量の設定と算定、およびプロジェクト排出量の算定	74
(3) プロジェクト実施前の設定値	86
7. 添付資料	94
(1) 方法論(案)和文要約	④に添付 94
(2) JCM Proposed Methodology	④に添付 94
(3) JCM Proposed Methodology Spreadsheet	④に添付 94
(4) 収集データ(その他)	⑥に添付 94

# 1. 調査の背景

## (1) ホスト国の JCM に対する考え方

### 1) ホスト国と日本との JCM の締約

2013年8月7日、ラオス人民民主共和国(以下ラオス)のビエンチャンにおいて、横田順子駐ラオス大使と、ヌーリン天然資源・環境大臣との間で二国間クレジット制度(Joint Crediting Mechanism: JCM)に係る日・ラオス二国間文書への署名が行われた。

これにより、ラオスにおいて JCM が正式に開始されることとなり、モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナムに続き、ラオスは、日本と本制度を開始する7か国目となった。

日本国としては、ラオスとの二国間クレジット制度を通して、ラオス国内における温室効果ガス排出削減に協力することにより、地球規模での温暖化防止に向けた努力に貢献して行く方向である。

日本とラオスの間における JCM の創設に向けては、2012年から政府間協議を開始し、2013年7月に二国間文書の内容について合意に達した。

JCM は、日本の優れた低炭素技術、製品、システム、サービス、インフラなどの普及等を通じ、途上国の持続可能な開発に貢献するとともに、日本からの温室効果ガス排出削減・吸収への貢献を定量的に評価し、日本の排出削減目標の達成に活用するものである。

JCM は、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)下でのクリーン開発メカニズム(CDM)を補完し、地球規模での温室効果ガス排出削減・吸収行動を促進することにより、UNFCCC の究極的な目標の達成にも貢献することが可能となる。

日本には、ラオスの低炭素成長に貢献可能な高い技術を有した民間企業が数多くあり、JCM の事業として、これらの企業の技術や経験が活用可能である。

二国間文書では、JCM を創設し、運用するため、合同委員会を設置することとされており、今後、合同委員会の設置(2014年設置)、JCM の実施に必要なルールやガイドライン等の策定が行われていく。

## 2) 地域での JCM の重要性

また、地域での JCM の重要性については、2013 年 12 月 14 日 日 ASEAN 特別首脳会議共同声明で、以下のように述べられている。

## 11. 気候変動:

我々は、気候変動が地域及び国際社会の共通の課題であることを強調した。我々は、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下、公平かつ実効的な枠組みに合意するとの目標を改めて確認した。我々は、人的交流、知識の共有、地域の低炭素成長を達成するための重要なツールとしての環境に優しい技術の移転を含む気候変動分野における協力を強化する重要性を認識し、この観点から、日本が進めるジョイント・クレディティング・メカニズム (JCM) に留意した。

## 3) 合同委員会の設置と活動

合同委員会の設置と活動は、以下の通りである。

2014 年 5 月 16 日、ラオスと日本の両国は、ビエンチャンにおいて開催されたラオス、日本間のジョイント・クレディティング・メカニズム (JCM) の第 1 回合同委員会で、CDM 実行とそのルール、合同委員会と両側の JCM 手順規則について署名した。署名し発効したのは、「JCM 実行ルール」と「合同委員会のための JCM 手順のルール」である。

このように、日本 ラオス両国は、JCM の実行のための環境づくりを進めつつあり、2014 年 2 月にはビエンチャンにおいて、低炭素発展のためのワークショップが開催され、ラオスの現状と見通し、股同国の低炭素発展のために有用とされる技術についてのプレゼンテーションも実施された。

## 4) ラオスの気候変動に対する考え方と本プロジェクト

ラオスの気候変動に対する基本的な考え方は、2010 年に取りまとめられた Strategy on Climate Change of the Lao PDR に述べられている。

本プロジェクトに関連する部分としては、3.5 章 Industry の 3.5.2 Mitigation Options の中で、

3) Promoting the use of biomass or agricultural residues to produce renewable energy or thermal energy for drying and heating products through combustion, gasification or pyrolysis;

と記載されており、本プロジェクトはラオスの気候変動対策の方針に完全に合致している。

## (2) 企画立案の経緯・背景

本 FS 調査を企画、立案した経緯、背景は、以下の通りである。

受託者は、2010 年 10 月～2011 年 3 月 経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境対策室からの受託を受け、「平成 22 年度地球温暖化対策技術普及推進事業案件発掘調査」として、ミャンマー、ラオスのセメント工場の省エネルギーの可能性調査を実施し、調査を通じ、省エネが期待できる有力な案件候補として、特にラオスにおける農業系バイオマスの石炭代替としての活用が考えられた。

同調査では、他の省エネ施策とともに提案を実施したが、その後、他の施策を含めて案件形成調査等具体化な次段階には至らなかった。

同調査では、ラオス最大手の Lao Cement Co., Ltd はその当時他国と CDM の交渉をしていたことから本件に対する協力が得られず、未稼働の南部の Dongya Yuxi Cement を調査した。

平成 24 年度の経済産業省地球温暖化対策技術普及推進事業案件として、ラオスにおけるセメント工場への農業系バイオマスの活用を提案する一方で、2012 年 4 月に受託者独自で現地の調査を実施し、農業系バイオマスのうち収集が容易と考えられる「もみがら」について、通年で発生していること、また他の大規模用途が存在しないことを確認した。また、Dongya Yuxi Cement にも調査への協力を要請した。ただし、この提案は不採択となり、実行に至らなかった。

平成 25 年度の環境省二国間クレジット制度 (JCM) 実現可能性調査に別プロジェクトを提案する過程で、一般財団法人 海外環境協力センター殿からの協力を得たが、不採択になった上記提案につき、同法人から興味を示され、調査やプロジェクトの内容、及び調査費用等について説明した。

その後、同法人ラオス担当より、2014 年 2 月に同国の首都ビエンチャンで同法人とラオス天然資源環境省(MONRE)の共催で開催される平成 25 年度途上国における NAMA 策定及び MRV 実施等に係る人材育成等事業 環境技術ミッション(Japan-Lao PDR Joint Workshop: Introduction of Low Carbon Technologies –NAMAs and the Joint Crediting Mechanism (JCM)) への参加の機会をいただき、低炭素技術の一例として本調査プロジェクトのプレゼンテーションを実施する機会を得た。

その際、本プロジェクトの実施を想定している Lao Cement Co., Ltd 往訪のセッティングもいただき、同工場幹部に本プロジェクトに対する説明を実施できた。また、プレゼンテーション後、Lao Cement の副会長より、積極的に支持するとのコメントをいただくことができた。

その後平成 26 年度環境省二国間クレジット制度 (JCM) 実現可能性調査に提案し、採択に至った。

## 2. 調査対象プロジェクト

### (1) プロジェクトの概要

本プロジェクトは、ラオスのセメント焼成設備に、農業系バイオマス活用技術の導入・普及を図り、化石燃料消費量を低減させるとともに、温室効果ガス(CO<sub>2</sub>)排出量の削減を図るものである。

#### 1) セメント焼成設備の概要

次ページ 図 2.1 にセメント焼成工程の概要を示す。所定の化学成分となるように調合され、粉末状に粉砕されたセメント原料は、プレヒーター(予熱器)およびロータリーキルン(回転窯)で焼成され、セメントとして必要な水硬性をもった化合物(クリンカー)に変化する。

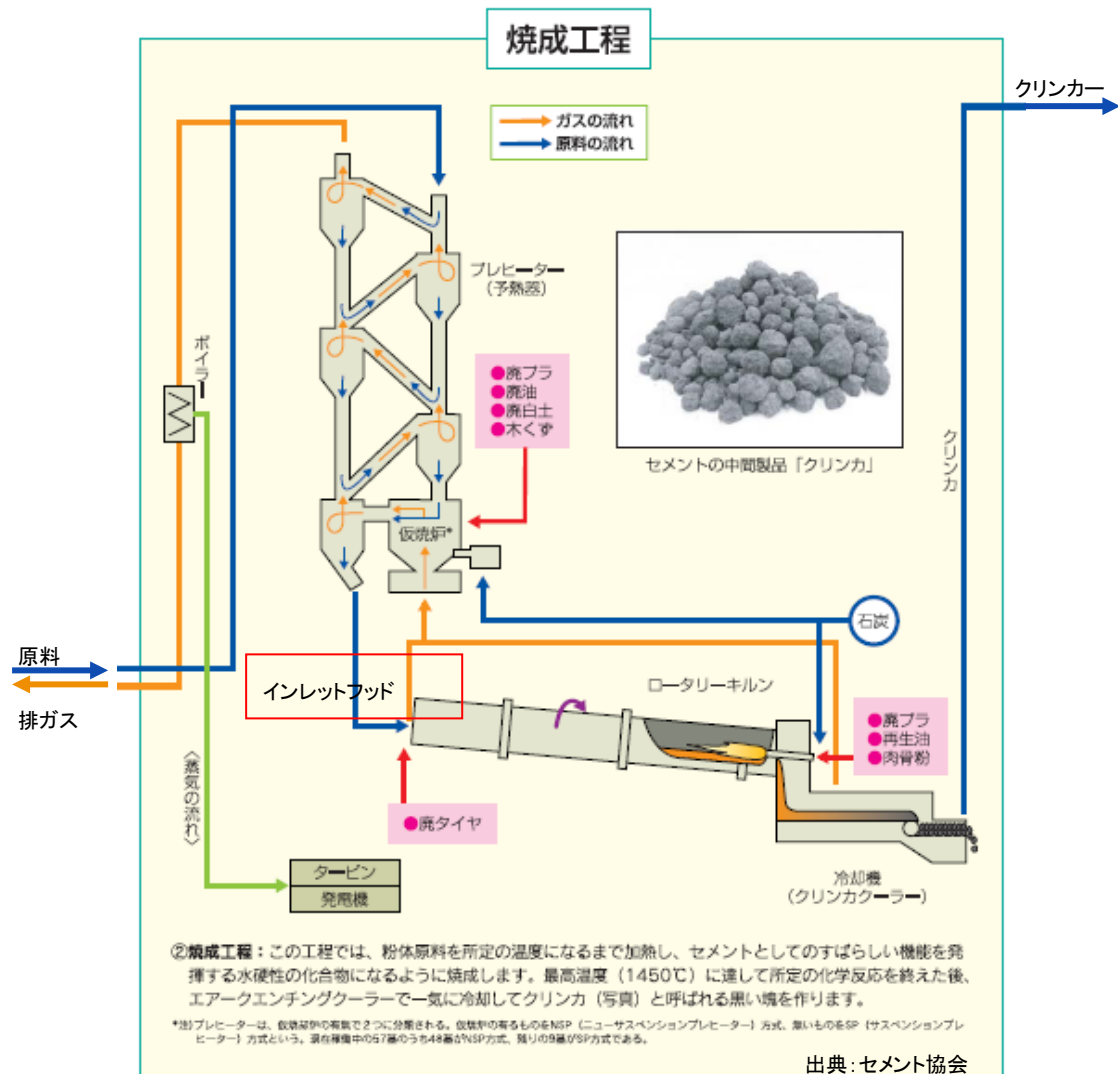


図 2.1 セメントクリンカー焼成工程

次ページ図 2.2 にはクリンカー製造のために必要な熱量原単位を示す。焼成工程においては、多量の熱エネルギーが必要とされ、省エネルギー技術の進んだ日本においても、セメントクリンカー1t当たり約 3,300 MJ/t-クリンカー（石炭(26,000kJ/kg)換算で約 130kg-石炭/t-クリンカー)の燃料を消費している。

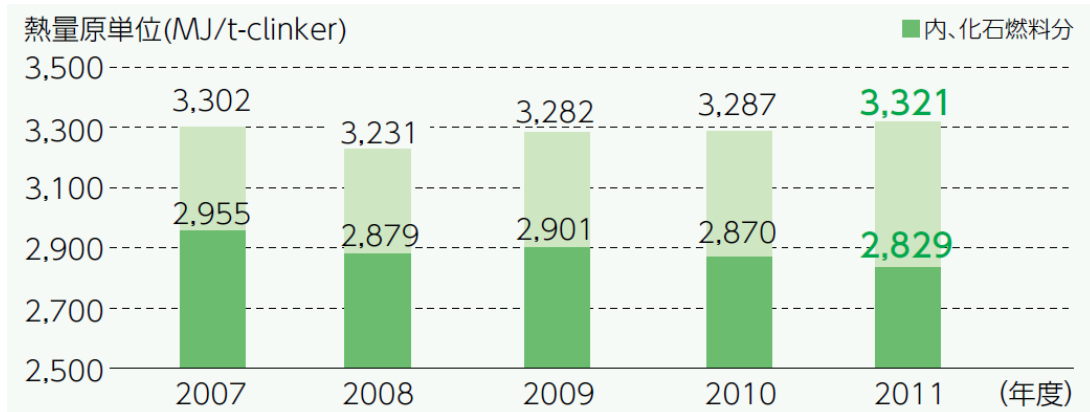


図 2.2 クリンカー製造のための熱量原単位 出典:太平洋セメント(株)ホームページ

2) セメント工場における省エネルギーの概要

クリンカー焼成用熱エネルギーの省エネルギー対策については、セメント製造方式の近代化、廃熱利用等が効果的であるが、これらは多額の投資を必要とする。また、セメント製造設備の運転の最適化も必要であるが、最適化の手法は個々の設備の状況により異なるため、一般的に普及できる手法としては確立されていない。これらの手法の他に、燃料系廃棄物や未利用の石炭代替熱エネルギーの有効利用が有力な省エネルギー対策として挙げられる。燃料系廃棄物、未利用石炭代替熱エネルギーとしては、従来焼却または埋立て処分されていた廃プラスチック、廃タイヤ、都市ゴミ等生活系廃棄物、本プロジェクトで検討しているもみ殻を含むバイオマスなどがある。日本においてセメント産業が活用している廃棄物・副産物の使用量を表 2.1 に示す。

表 2.1 セメント業界の廃棄物・副産物使用量の推移

(単位:千トン)

種類	主な用途	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
高炉スラグ	原料、混合材	9,711	9,304	8,734	7,647	7,408	8,082	8485
石炭灰	原料、混合材	6,995	7,256	7,149	6,789	6,631	6,703	6870
汚泥、スラッジ	原料	2,965	3,175	3,038	2,621	2,627	2,673	2987
副産石こう	原料(添加材)	2,787	2,636	2,461	2,090	2,037	2,158	2286
建設発生土	原料	2,589	2,643	2,779	2,194	1,934	1,946	2011
燃えがら(石炭灰は除く)、ばいじん、ダスト	原料、熱エネルギー	982	1,173	1,225	1,124	1,307	1,394	1505
非鉄鉱滓等	原料	1,098	1,028	863	817	682	675	724
木くず	原料、熱エネルギー	372	319	405	505	574	586	633
珪物砂	原料	650	610	559	429	517	526	492
廃プラスチック	熱エネルギー	365	408	427	440	418	438	432
製鋼スラグ	原料	633	549	480	348	400	446	410
廃油	熱エネルギー	225	200	220	192	275	264	273
廃白土	原料、熱エネルギー	213	200	225	204	238	246	253
再生油	熱エネルギー	249	279	188	204	195	192	189
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	163	148	128	103	89	73	71
肉骨粉	原料、熱エネルギー	74	71	59	65	68	64	65
ボタ	原料、熱エネルギー	203	155	0	0	0	0	0
その他	-	615	565	527	518	595	606	835
合計	-	30,890	30,720	29,467	26,291	25,995	27,073	28523
セメント1t当たりの使用量 (kg/t)	-	423	436	448	451	465	471	481



表 2.2 に、クリンカー焼成用熱エネルギー使用量の推移を示す。表中のその他は、廃油、廃タイヤ等、廃棄物系熱エネルギーであり、これらの使用量増加にともない、石炭、重油等の化石燃料の使用量が削減されている。

表 2.2 熱エネルギー使用量の推移(2006-2010)

年度			2005	2006	2007	2008	2009	
熱エネルギー	石炭	千t	7,900	7,877	7,953	7,611	6,624	
	石油コークス	千t	1,075	1,093	949	871	987	
	重油	千kl	144	136	104	81	81	
	その他	千kl	394	527	676	719	760	
	合計	セメント製造用	千t	7,639	7,842	7,669	7,231	6,543
		発電用	千t	2,319	2,340	2,525	2,408	2,367
		計	千t	9,958	10,181	10,194	9,639	8,910

出典:セメント協会

セメント製造工程において、廃棄物・未利用熱エネルギーを使用する際のメリットとして以下のことが挙げられる。

- ・通常規模のセメントキルン一基の生産量は2,000t-クリンカー/日 以上で、使用熱量は石炭換算で 200t/日 以上と多量である。そのため、セメントキルン内の保有熱量は大容量であり、ほとんどの廃棄物・未利用熱エネルギーを大量に活用できる。
- ・廃棄物・未利用熱エネルギーを燃焼した際に発生する灰成分は、セメント成分に近いものがあり、これらの灰成分は全てセメント中に取り込まれるため、これらを通常処理した際に発生する二次廃棄物が出ない。
- ・セメントキルンの中は最高温度約 1,450℃と高温のため、廃棄物・未利用熱エネルギーは完全に分解され、ダイオキシン類がほとんど排出されない。
- ・廃棄物・副産物をセメント原燃料としてリサイクルすることにより、その分天然原燃料の使用量を削減することができる。これにより、採掘量を削減できると共に自然環境の保護につながる。
- ・燃料代替廃棄物の多くはこれまで埋め立て処分や単純焼却処分されてきた。これら廃棄物をセメント工場熱エネルギー源として有効利用することにより、温室効果ガスの発生量を削減できる。

・廃棄物をセメント工場で有効利用することにより、最終処分場の延命にも貢献する。

これらのことから、セメントキルンでの廃棄物・未利用熱エネルギーの有効利用は、資源循環型社会の形成に貢献できるとともに、温室効果ガス排出削減にも寄与できるものである。

## (2) ホスト国における状況

現在、ラオスにはセメント工場が約 10 箇所あるが、本調査の目的であるもみがらを含む農業系バイオマスをもみがらとすの代替燃料を使用しているという情報はない。

その理由としては、以下の各点が挙げられる。

- ① バイオマスの発生場所での集積がなく、収集が困難である。
- ② 輸送インフラが未発達で、バイオマス輸送の手段に限られる。
- ③ バイオマス以外の産業廃棄物は、工業が発展途上であることから発生量には限りがあり、さらに首都近郊に限られる。

ただし、もみがらを代替燃料として簡易な方法で使用しているタイのセメント企業が工場を建設しており、将来タイに倣った方式の採用は考えられる。また、ラオスのセメント工場の技術者もタイの設備を見学しており、知識は持っている。

ただし、本調査においても最重要視しているバイオマスの収集方法が未確立となっている現状では、農業系バイオマスの本格的活用はまだできていない状況である。

また、バイオマス収集方法が確立しても、セメントクリンカー焼成プロセスに悪影響を与えないための計量器等の設置による定量供給を含んだ方式は、計画されていない。

日本において代替燃料を使用する際、プロセス、製品の品質に悪影響を及ぼさないことは活用のための大原則であり、この原則を遵守した技術を普及させることにより、代替燃料の効率的活用を図り、省エネルギーと温室効果ガス発生低減により貢献することとなる。

## (3) プロジェクトの普及

### 1) ホスト国の他所への普及

本プロジェクトによるもみがらの有効利用量は、クリンカー2,500t に対してもみがら 48t を想定している。現在ラオス国内のセメント生産能力は 10 工場で約 384 万 t/年(表 2.5)であり、ラオスの

セメント工場で約 7 万 t/年のもみがら使用が可能である。一方でラオスの米生産量は 2012 年において 349 万 t/年(表 2.5)に増加した。米 1kg に対し、おおよそ 0.2kg のもみがらが発生することから、ラオスでももみがら発生量は約 70 万 t/年に増加していると推定され、本プロジェクトを普及した場合でも、持続可能なもみがらの収集システムを構築できれば、もみがらの量は確保可能と考えられる。

#### 1) 他国への普及

東南アジアの各国のセメント生産量と米生産量をそれぞれ表 2.5、表 2.6 に示す。ホスト国での普及可能性と同様に、東南アジアの各国においてももみがらの収集システムを構築し、本プロジェクトの普及が図られる。

表 2.5 東南アジア各国のセメント生産量

国	ラオス	タイ	ベトナム	インドネシア
生産量(万 t/年)	384 <sup>*1</sup>	3,165 <sup>*2</sup>	4,001 <sup>*2</sup>	4,362 <sup>*2</sup>

\*1 生産能力(出典:2014年11月26日付 Global Cement 資料)

\*2 2008年生産量(出典:総務省統計局ホームページ資料)

表 2.6 東南アジア各国の米生産量

国	ラオス	タイ	ベトナム	インドネシア
生産量(万 t/年)	349 <sup>*1</sup>	3,780 <sup>*1</sup>	4,366 <sup>*1</sup>	6,905 <sup>*1</sup>

\*1 2012年生産量(出典:農林水産省ホームページ資料)

### 3. 調査の方法

#### (1) 調査実施体制

本調査実施に当たっての受託者を含む役割分担は下表の通りである。

国	調査実施に関与した団体名	受託者との関係	実施内容
日本	太平洋エンジニアリング株式会社	受託者	調査実施主体、現地政府、対象工場との折衝、設備概略設計、燃焼実験実施
	株式会社オオスミ	外注先	MRV 関係調査、方法論案作成
ラオス	Hello Laos	外注先	通訳、アレンジ、借上車手配

太平洋エンジニアリングは本調査の実施主体であり、現地政府、対象工場(Lao Cement)等との折衝、特に燃焼実験用装置の設計や実験の準備等の指示、打ち合わせ等を実施した。また、バイオマスの賦存状況についても主体的に調査した。

オオスマは本調査のうち、MRV 関係と方法論案の作成業務を担当した。現地調査においては、MRV にかかわる計測、記録等の確認を実施した。また、調査対象工場から提供されたデータを使用して、方法論案の作成を実施した。

現地側の Hello Laos 社は、上記2社の現地調査に関する通訳、政府関係者、調査対象工場、およびその本社とのアポイント確認、また特に精米所等においては通訳を実施した。加えてラオス国内での移動のための借り上げ車を手配した。

## (2) 調査課題

本調査にあたって設定した課題は以下の通りである。

### 1) バイオマス賦存量(特にもみがら)の確認調査

一般的にバイオマス活用プロジェクトの場合、活用できるバイオマス量があることを確認することが重要である。統計上で存在するとしても、その発生が分散している場合は量の確保が困難となる。

今回の調査では、事前の調査で比較的発生が集中していると判断された精米所(正確には脱穀+精米所であるが、簡単のため精米所と記述する)のもみがら発生状況を中心に調査した。

### 2) バイオマス運搬・収集システムの検討と提案

前項とも関連するが、バイオマスが発生していても、活用場所(今回の場合セメント工場)までの持続可能な運搬システムが確立しなければ、継続的活用はできない。

この検討は、ホスト国側の実情を良く知る政府関係者や調査対象工場関係者等に意見、アイデアを聞き、報告書内で可能なシステムを提案する。

### 3) バイオマス活用設備の設計

バイオマス活用設備は、投入するバイオマスの種類(本調査の場合はもみがら)を想定して概略設計を実施する。調査対象工場の要望を確認して設計を実施する。

### 4) 燃焼実験(仮設備または手投入)

バイオマスの燃焼実験を実際のセメントクリンカー焼成炉で実施することで、燃焼の状況(が変化しないこと)や運転への影響(がほとんどないこと)等を検証する。

あわせて、バイオマスの活用で化石燃料消費量が低減する(=温室効果ガス発生量が低減する)ことを、実験を通じてラオス側メンバーに体感してもらうことでバイオマス活用に対するモチベーションを高める。

## 5) JCM 方法論の開発

5 章にて詳述する。

## 6) MRV の検討

4-(4) 章にて詳述する。

## (3) 調査内容

調査課題は上記(2)に明記したとおり、1)バイオマス賦存量(特にもみがら)の確認調査 2)バイオマス運搬・収集システムの検討と提案 3)バイオマス活用設備の設計 4)燃焼実験(仮設備または手投入) 5)JCM 方法論の開発 6)MRV 検討 7)その他調査の過程で判明した課題である。これらについてそれぞれの調査内容について以下に詳述する。

## 1) バイオマスバイオマス賦存量(特にもみがら)の確認調査

## i) ラオスのバイオマス賦存量の推定

事前の情報によるラオスの主な農業生産量(2011, Food and Agriculture Organization)は以下の通りである。

なお、米のデータについては、2 章(3) プロジェクトの普及で引用した、より新しい日本の農林省の 2012 年のデータでは 349 万 t となっており、増産傾向にあることがわかる。

米:307 万トン/年

サトウキビ:122 万トン/年

トウモロコシ:110 万トン/年

キャッサバ:74 万トン/年

その他(サツマイモ、コーヒー、ピーナッツ等)

これらの農業生産物からの残渣発生量は以下の表 3-1 により推定できる。

表 3-1 日本におけるいろいろな作物残渣の発生量と特徴<sup>5)</sup>

	生産量 [t/年]	残渣率 [-]	残渣発生量 [t/年]	含水率 [-]	灰含有量 [-]	エネルギー量 [PJ/年]
米	9 472 000	1.43	13 544 960	0.2	0.22	157.2
小麦	688 200	2.53	1 741 146	0.28	0.14	20.1
大麦	192 200	2.5	480 500	0.09	0.15	6.9
サツマイモ	1 008 000	1.14	1 149 120	0.89	0.1	2.1
ジャガイモ	2 844 000	1.14	3 242 160	0.89	0.1	6.0
大豆	235 000	2.14	502 900	0.6	0.15	3.2
サトウキビ	1 395 000	0.52	725 400	0.8	0.16	2.3
青刈り トウモロコシ	5 287 000	1.1	5 815 700	0.47	0.1	51.6
ソルゴー	1 625 000	1.57	2 551 250	0.6	0.16	15.9

(日本エネルギー学会編 シリーズ21世紀のエネルギー 太陽の恵みバイオマス 松村幸彦)

著 コロナ社発行より)

表 3-1 を使用して計算すると、農業生産物残渣の推定量は、

米	:307 万トン/年×1.43=439 万トン/年
サトウキビ	:122 万トン/年×0.52=63 万トン/年
トウモロコシ	:110 万トン/年×1.1=121 万トン/年
キャッサバ	:74 万トン/年×1.14=84 万トン/年

米は最も生産量が多く、また最も廃棄物が多い農産物である。

米についての詳細は以下の通りである。

生産量:307 万トン/年

もみがら発生量:61 万トン/年(もみがらは米生産量の約 20%発生する)

稲わら発生量:378 万トン/年

(米生産における残渣発生量は上表により玄米1トンに付 1.43tである。

これからもみがらを差し引くと、 $307 \times 1.43 - 61 = 378$  万トン/年となる。)

#### ii) 精米所の調査

セメント工場は年間を通して運転されており、補助燃料を使用する場合、設備設置の費用対効果およびキルンの安定運転確保の観点から年間を通して安定的に供給される燃料が望ましい。

ラオスは国内の灌漑設備が発達しておらず、農作物の生産は基本的に1回/年である。米も例外ではなくほとんどの地域で1期作である。しかし、ラオスにおける米の流通において、日本と異なる点は貯蔵をもみの状態で行うことである。

日本では玄米で低温倉庫に貯蔵しているが、ラオスでは低温倉庫が普及していないため、痛みが少ないもみの状態で貯蔵する。精米所では年間を通じてもみすりしと精米を実施しており、もみがらおよびぬかが発生する。

この状況を確認するため、精米所の調査を実施した。調査は5ヶ所の精米所について実施した。精米所の位置はビエンチャンとバンビエンの中間付近に点在していた。ただし、バンビエン近郊は山岳地帯になるため、精米所は見当たらなかった。ビエンチャン方向では数多くの精米所が見受けられた。

表 3-2 調査した精米所の能力

	精米所①	精米所②	精米所③	精米所④	精米所⑤
精米量(t/d)	10	10	10	10	5
稼動時間(h/d)	6	6	6	6	6
精米機製造国	タイ	タイ	タイ	タイ	中国
もみがら発生量(t/d)	2	2	2	2	1
もみがらの処理方法	特になし。時々近隣の農家がもらいに来る程度				



今回調査した精米所はすべて 10t/d 程度の小規模事業者である。籾摺精米機はほとんどタイから輸入されたものであり、規格品と見受けられた。ラオス国内に広く普及しているものと推定される。今回の調査範囲ではもみがらは特に有価で取引されていることはなかった。

精米所は年間を通じて運営されており、もみがらも年間を通じて発生する。

## 2) バイオマス運搬・収集システムの検討と提案

今回調査ではラオスの精米所は 10t/d 程度の規模が大部分であり、大量に収集するには数多くの精米所から収集する必要があることがわかった。現在予定している 2t/h では 24ヶ所以上の精米所の協力が必要になってくる。

今回の燃焼実験では1つの精米所において、約2.5tのもみがらを調達予定だが、精米所では白米を消費地に運搬するためにトラックを保有しており、今回そのトラックでの運搬を実施した。精米所のトラックは積載量 2t～4t程度の小型のものであるが、近郊までの運搬であれば十分に対応できる。

ただし、実際のプロジェクト実施のためのバイオマス運搬・収集システムは、もみがらを最低 12 か所の精米所から毎日収集してセメント工場まで運搬するシステムを構築することがプロジェクト実現のための最重要課題である。

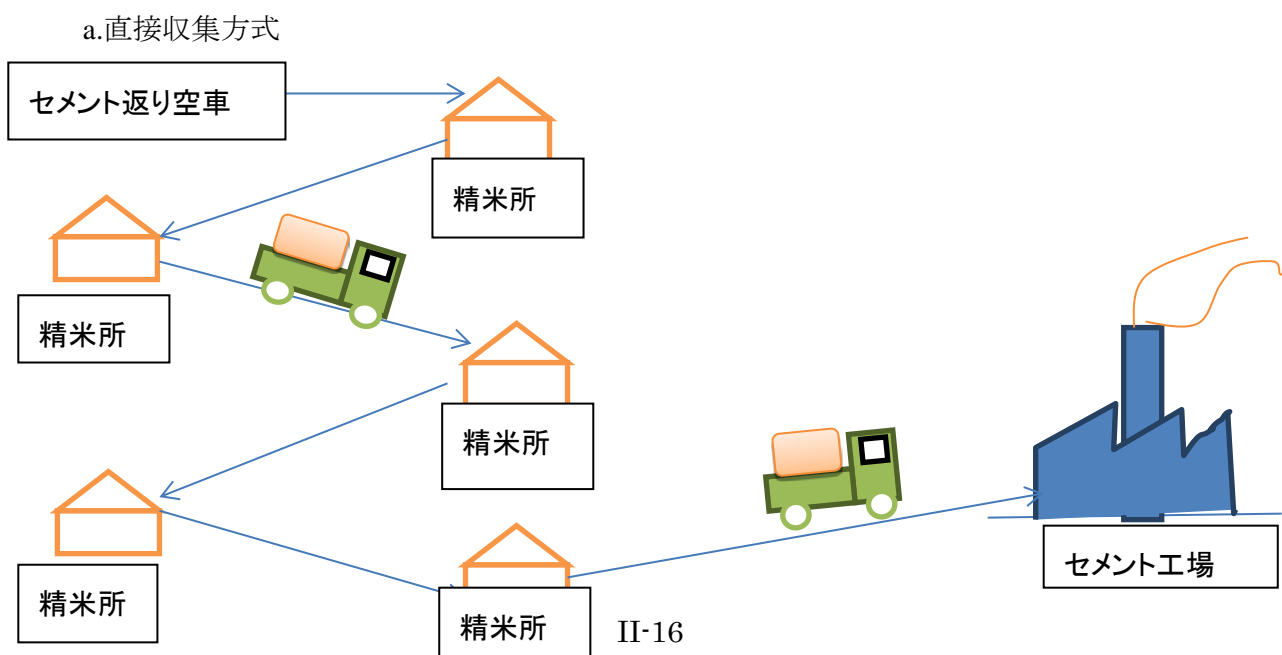
バイオマス運搬・収集システムの提案にあたっては、ラオスの実情(制約条件)を確認した上で、実現、継続可能な方式を提案する必要があり、以下の提案は一例である。

今後の段階では、調査対象工場、そして精米所等も含めて広く意見を調整してシステムの構築に当たりたい。

制約条件は以下のようなものがある。

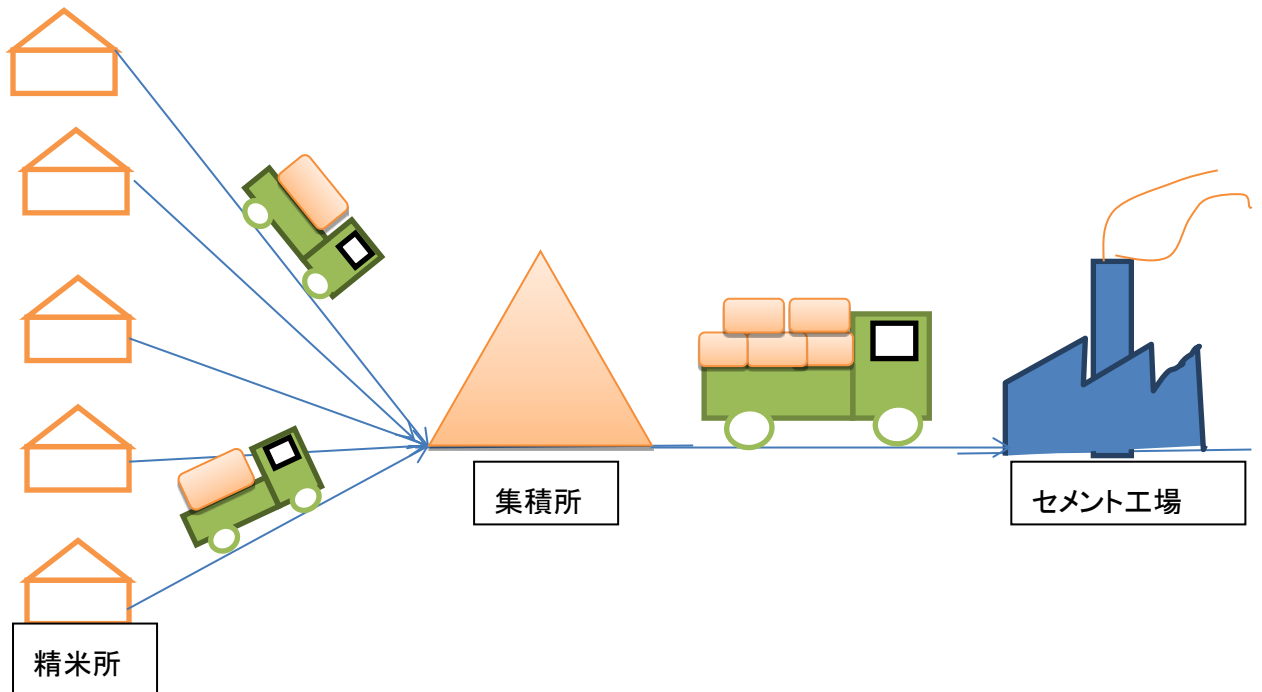
- ラオスでは輸送インフラ(トラック等)の調達が他国のように容易でないため、フィリピンのセメント工場で実施されているような専用トラックによる運搬は現実的でない。
- 一方で、調査対象工場の製品であるセメントは、全量がトラックによって、主要市場であるビエンチャンに出荷される。よって、セメント運搬の帰りのトラックを使用して工場にもみがらを搬入するのが経済的にも環境の面からも望ましい。
- セメント運搬のトラックは、袋詰めセメントを運搬するための普通トラックである。そのため、もみがらの袋詰め作業がトラック積みの前に必要となる。

また、もみがらを積む場所であるが、直接精米所をセメントの返りの空車トラックが回って収集する方式と、近郊に集積所を設け、そこにセメント運搬の帰りトラックを派遣して積み替え、工場まで運搬する方式の2つが考えられる。以下に概念図を示す。





b.集積所を設ける方式



これらの 2 方式には下表に示したとおり得失があり、どちらがより現実的、持続可能であるかをラオス側と更に打ち合わせる必要がある。

また、集積所を設置する場合はその運営に関する事項をできるだけ細部まで決めておく必要がある。

直接収集方式と集積所を設ける方式の得失

項目	直接収集方式	集積所を設ける方式
運営	精米所での袋詰め、積み込みのみ、精米所で完結するので現状のままで可能	集積所の場所、施設、要員が必要。
運搬数量の確認	精米所自身で確認、記録	集積所で受け入れ時に計量や記録が必要
集積所までの運搬	不要	精米所が運搬する必要がある。
運搬可能なもみがら	精米所によっては休止等でもみがらが出ていない場合があり、積み込めない可能性がある	複数の精米所から集積しているため、必ず積み込むことができる

	ある。	
運搬ルート	何か所もの精米所を回る必要があり、回り道になったり、精米所の中には国道から離れたりしているところもあるので、セメントトラックにはアクセスが困難な場合もある。	国道沿いに集積所を設置すれば効率的に運搬できる

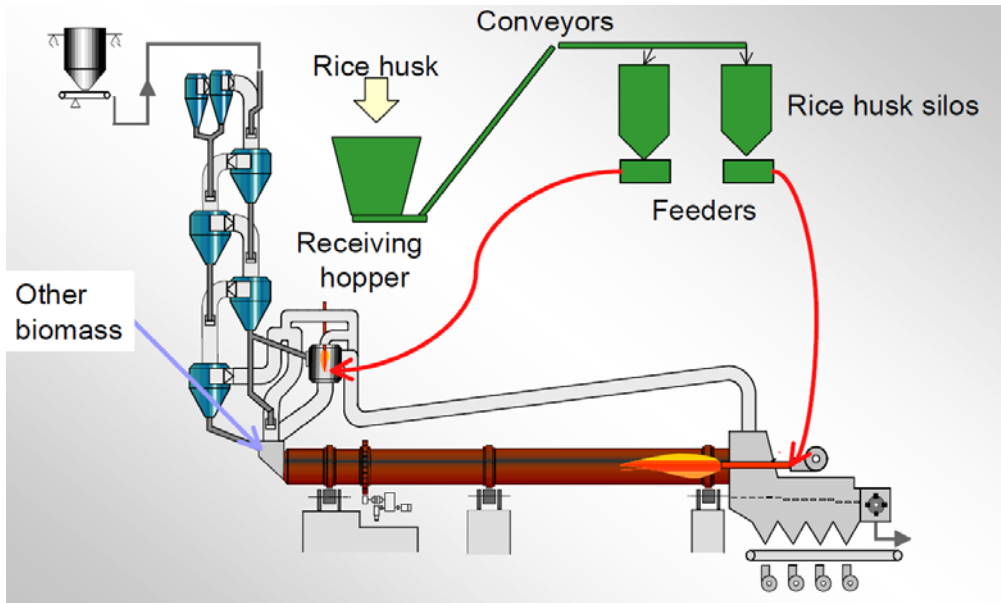
### 3) バイオマス活用設備の設計

ラオスで調達可能で大量に発生するバイオマスは上述の通り、米・サトウキビ・トウモロコシ・キャッサバの廃棄物である。これらを多い順に並べると以下のようなになる。

稲わら	:378 万トン/年
トウモロコシ廃棄物	:121 万トン/年
キャッサバ廃棄物	:84 万トン/年
バガス(サトウキビ殻)	:63 万トン/年
米のもみがら	:61 万トン/年

ラオスでは農作物は原則的に1回/年の栽培・収穫であり、その収穫は秋に集中する。従ってセメント工場で継続的に使用する補助燃料としては米のもみがらが適している。

もみがらの発熱量は約 15,500kJ/kg(乾燥状態)であり、ラオスのセメント工場で使用している石炭(発熱量約 18,000~19,000kJ/kg)の 80%以上の発熱量がある。従って、ラオスにおいては代替燃料として有用燃料と言える。もみがらのみの特化した設備を設置することを考えると、以下のような設備が考えられる。



もみがら燃焼設備計画概略図

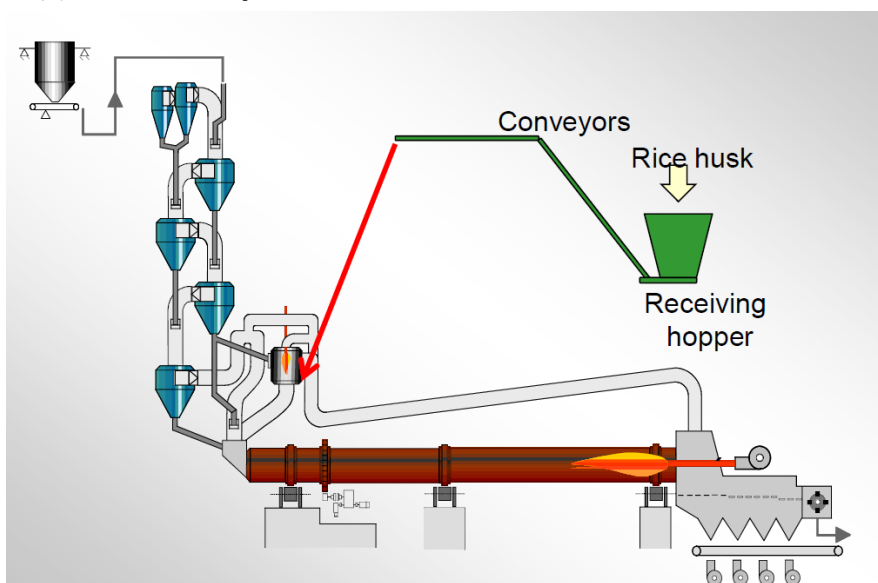
この設備ではもみがらを空気輸送で2か所の既設バーナー近傍に吹き込む。この方式はもみがらであれば非常に効率よく燃焼させることが可能である。

ただし、現地調査での聞き取り調査によると、もみがらのみ使用できる設備では汎用性に欠けるため、出来れば他のバイオマスを含んだ補助燃料が使用出来る設備が望ましいとの意見が大勢であった。

そのため、後に述べる今回の燃焼実験に用いられるようなシュートを仮焼炉下部に設置し、コンベアで運搬する設備を採用することに設備設計を変更した。

この設備では燃焼可能なものであればほぼすべての補助燃料が使用可能である。

概念図は下図の通りである。



バイオマス燃焼設備計画概略図

4) 燃焼実験(仮設備からの手投入)

ラオス国内のセメントキルンにおいては、未だ補助燃料の燃焼を行った実績はない。また、ラオス国内におけるセメントの価格が比較的高く、収益が良いためのもあり、コスト面からの要求は少ない。

しかし、燃料である石炭(無煙炭)がラオス国内において枯渇してきており、石炭節約の面から、代替燃料の使用についての要求が政府から高まってきている。

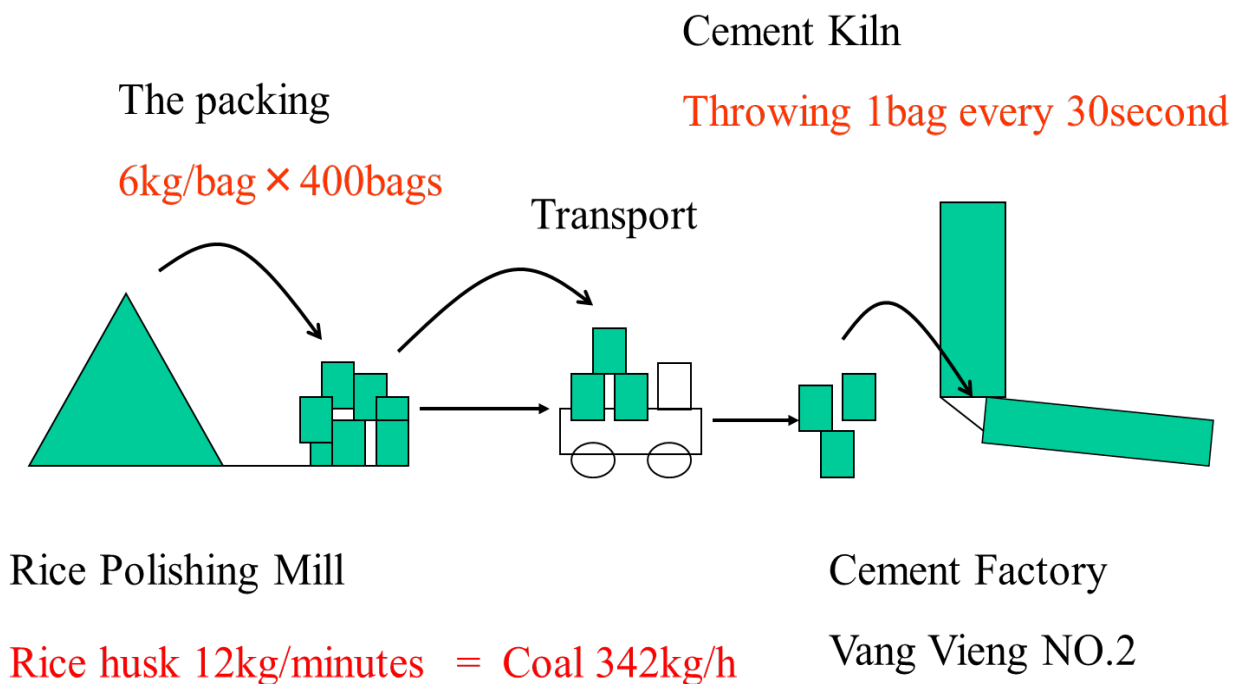
調査対象工場は、国外での農業系バイオマス活用状況を視察した要員がいるとのことではあるが、一般には、バイオマス活用がどのようなものであるかは十分理解しているとは言えない。

そこで、下記の目的のため、実際に稼働中のキルンにもみがらを投入する実験を計画した。

i) 実験の目的

- ① 実際に補助燃料をキルンに投入することにより、微粉炭使用量が低下するかどうかの確認。(技術的検討)
- ② 現場の技術者が代替エネルギー使用により石炭使用量が節約できるという意識づけ(啓蒙)
- ③ ラオス国内外へのアピール(企業、国としての姿勢)

ii) 燃焼試験の概要



### もみがら燃焼試験の手順と概要

- ① キルン入口部に仮設の投入口を設置する。(実験終了後は撤去の予定であるが、大掛かりな工事が必要なため、今回実験終了後、カバーをして使用不能にした。)
- ② 精米所にてセメント袋にもみがらを人力にて詰める。
- ③ トラックでセメント工場まで移送して一時貯蔵する。
- ④ 投入は人力により実施する。
- ⑤ 実験は3時間行う。

### 燃焼実験の目的

燃焼実験の主目的は、ラオスにおけるセメントキルンの運転状態において、補助燃料の燃焼が可能であるかどうかの確認を行うことである。そのため、キルンの運転状態の確認と必要により運転操作指導を実施した。

現状の運転状態は、キルン側と仮焼炉側の二次空気の配分がやや不適當だったが、軽微な調整で対処可能であると判断された。

この実験では仮焼炉の微粉炭燃焼量が 340kg/h 余り低下する計画であり、セメント工場のスタッフに代替燃料の効果を実感してもらうことが目的のひとつであった。

### iii) 燃焼実験結果

完成した仮実験設備は以下の写真の通りである。



投入口及びシュートは500mm×500mmの角型とし、空気漏洩防止のため、フラップダンパを二重に装備している。

(1) 燃焼実験の方法

2015年2月13日 13:30 - 16:30 にかけて実験を実施した。

セメント袋に封入したもみがらを30秒に1袋ずつ、投入設備からキルン入口部へ投入した。  
 なお投入操作はフラップダンパ開閉、袋の運搬等すべて人力で行った。

一袋当たりのもみがら量は事前の計測により、平均 6.23kg であった。  
 よって、投入量は以下の通りである。

$$6.23\text{kg}/\text{袋} \times 2 \text{ 袋}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} = 748\text{kg}/\text{h}$$

投入状況の写真を以下に示す。



投入要員と計時要員、後ろに袋運搬要員



ダンパー操作要員

本実験には、関係省庁である、商工省、天然資源環境省からスタッフが視察に来場した。

また、別の行事で工場を訪れていた Lao Cement 上層部(中国側含む)も本燃焼実験を視察した。  
 これらの視察は、バイオマス燃焼に関する理解を深める良い機会となった。

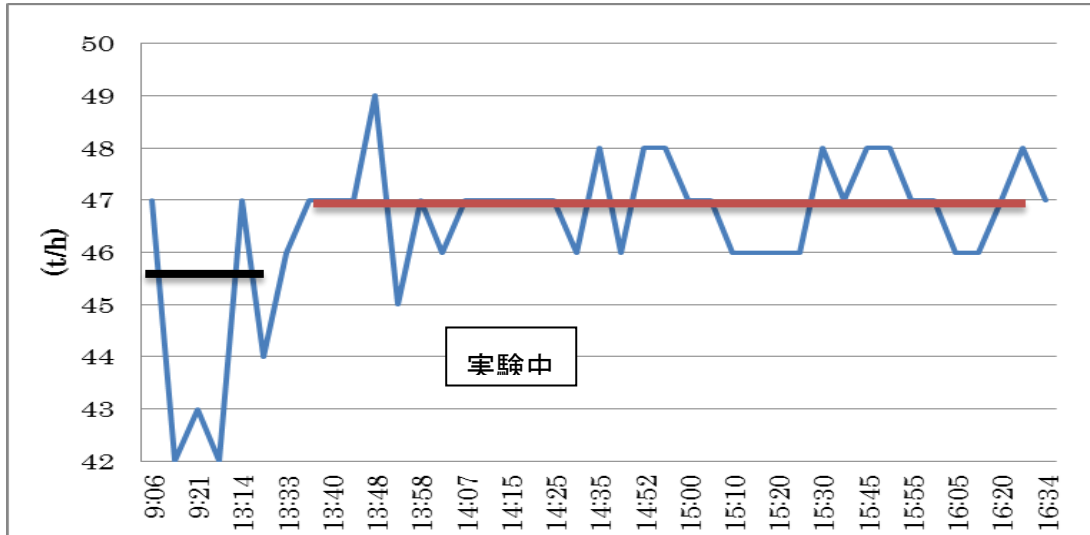


中央操作室で実験推移を見る商工省、天然資源環境省のスタッフ

(2) 実験結果の解析

1) クリンカ生産量

クリンカ生産量の推移は下図の通りである。



① 実験前の平均原料送入手量

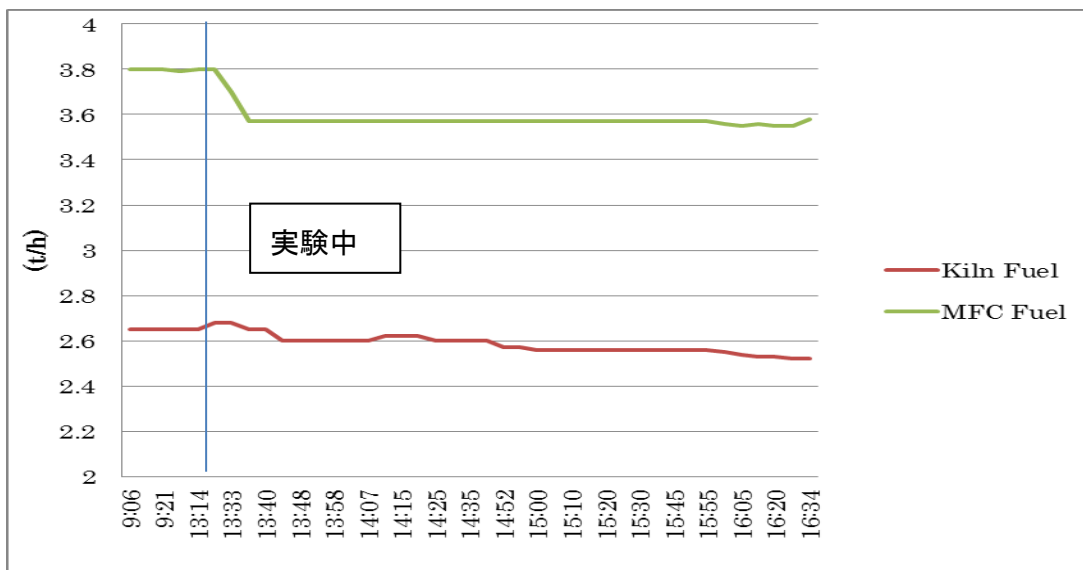
45.63t/h、クリンカ換算では 28.52t/h

② 実験中の平均原料送入手量

安定運転になった時の平均原料挿入量 46.98t/h、クリンカ換算では 29.36t/h  
試験期間中はクリンカ生産量が 0.84t/h 増加した。

2) 燃料燃焼量

燃料消費量の推移は以下の通りである。



試験期間中は燃料消費量が 0.287t/h 減少した。

燃料消費量の減少量は 0.287t/h であり、目標の 340kg/h 低下に達していない。これはクリンカ生産量が増加しており、燃料消費量の絶対値が増えているためである。そこで単位クリンカ生産量当たりの燃料消費量の比較を行い、実質の燃料使用の減少量を算出する。結果を下表に示した。

実験前と実験中の各種運転データの比較

Items	Before	On the test	Difference
Clinker production(t/h)	28.5	29.36	0.8
Kiln fuel(t/h)	2.581	2.559	-0.02
Calcliner fuel(t/h)	4.437	4.172	-0.27
Total fuel(t/h)	7.018	6.731	-0.29
C5 Inlet temp (Degree Centigrade)	837	839	1.6
C2 Outlet temp (Deg. Centigrade)	539	540	1.4
Heat consumption (kcal/kg-clinker)	1,132	1,054	-77.5

クリンカの生産量を実験前と同じ 28.5t/h とし、微粉炭の発熱量を 4600kcal/kg とすれば、燃料節約量は以下の通りである。

$$28.5\text{t/h} \times 77.5\text{kcal/kg-clinker} \div 4600\text{kcal/kg} = 0.480\text{t/h}$$

約 480kg/h の石炭が節約されたことになる。

### 3) 粃殻の有効燃焼割合 (寄与率)

もみ殻の発熱量は平均的に 3500kcal/kg(乾燥・低位)、水分を 12% であるので、もみ殻投入による熱量は以下のように計算される。

$$(6.23\text{kg/h} \times 2 \text{ 個/min.} \times 60\text{min/h} \times 3500\text{kcal/kg} \times (1-0.12)) \\ - (6.23 \times 2 \times 60 \times 0.12 \times 600\text{kcal/kg-moisture}) = 2,248,781\text{kcal/h}$$

石炭の節約による熱量は、  
 $480\text{kg/h} \times 4600\text{kcal/kg} = 2,208,000\text{kcal/h}$

もみがらの有効燃焼効率、すなわち寄与率は以下の通りとなる。

$$2,208,000\text{kcal/h} \div 2,248,781\text{kcal/h} \times 100 = 98\%$$

一般的に代替燃料の寄与率は 70% 程度であるのでもみがらは非常に燃焼性が良いことがわかる。計画された石炭削減量 340kg/h は寄与率 70% として計算されたものである。

### 4) キルン運転への影響

#### ① 排ガス温度

一般的に代替燃料は微粉炭に比べ燃焼効率が低いいため、燃焼ゾーンで完全に燃焼しきれず熱交換も不十分になって、排ガス温度を上昇させる。しかし、今回の実験期間



では上部サイクロン出口におけるガス温度上昇は観測されなかった。もみ殻の燃焼効率は、微粉炭同等と言える。

第2段サイクロン出口平均温度: 実験前 539℃  
実験中 540℃

②品質への影響

クリンカの品質管理は通常、容重(1リットルあたりの重量)と遊離石灰(f.CaO)により行っている。

今回の実験期間における測定値は通常の値に比べて有意差はなかった。

(3)まとめ

燃焼実験により、もみがらをキルン入口で燃焼させることにより、微粉炭燃焼量が減少することがわかった。また、その寄与率は約98%であった。

今回の実験範囲ではもみがら燃焼によるキルンの運転及び品質に悪影響はなかった。

なお、仮実験設備の撤去はキルン運転を停止時なければ実施できないため、当面投入口にカバーをかけて使用できないようにした。後日、キルン休止時に工場において撤去することになっている。



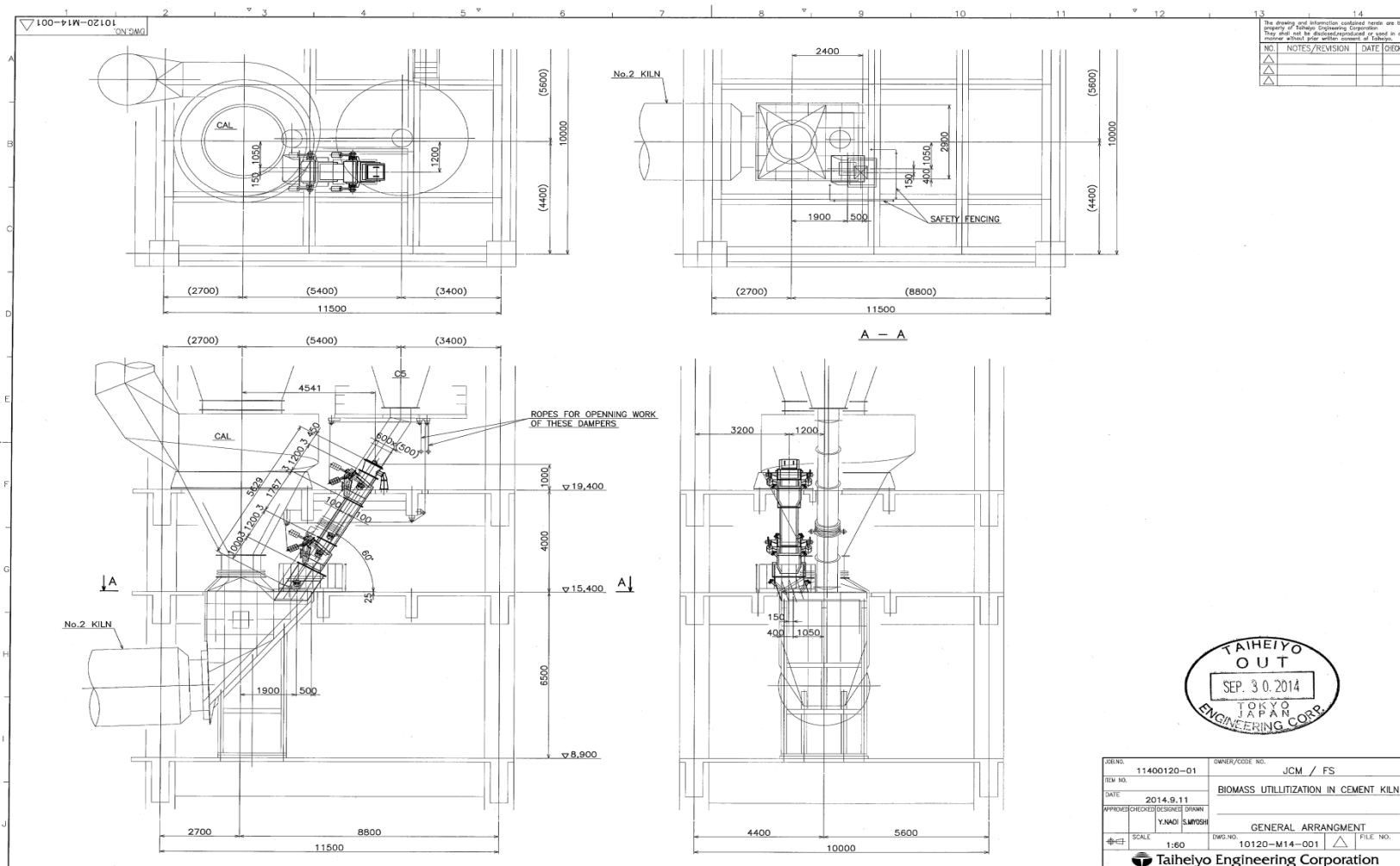
実験終了後  
カバーをかけられた仮設投入装置

## 5) その他調査の過程で判明した課題とその解決策

調査の過程で判明した課題と解決策は、以下の通りである。

- i) 現地での聞き取り調査の結果、もみがらの有効利用が他所でも考えられており、現在は余っていても近い将来供給がタイトになるのではないかと、との懸念が聞かれた。  
よって本事業の提案時、中間報告書提出時はもみがらに特化した設備を考えていたが、本計画では汎用性の高い輸送設備を設置することとした。(ただし、ホッパーからの引出し装置については、安定供給が必要なため、もみがら専用としている。他バイオマスの大量使用時にはそのバイオマス専用の引出し装置の検討が必要。)  
なお、今回再設計を実施し、機器の構成が変わったこと等から、提案書、中間報告書で示した設備金額から大幅に設備金額が増加した。
- ii) 第1回調査時、燃焼実験を予定しているキルン (Van Vieng II) の運転状態を調査したところ、補助燃料を燃焼させることが難しい運転状態であった。そこで、急遽2回目の現地調査を実施し、再度キルンを調査したところ、比較的良好な運転状態が確認された。ラオスでは運転に必要な計測器の不備があり、このような運転になっているものと推定される。なお、本実証設備を設置する予定の Van Vieng III は現在試運転中であるが、運転調整に必要な計測器が設置されていることを確認した。

次ページに仮設投入設備の図を示す。



VangVieng No.2 Kiln バイオマス仮設投入設備

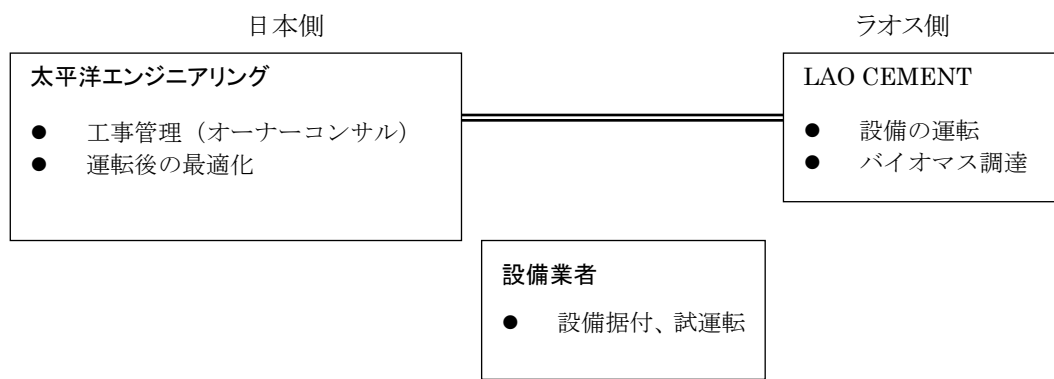
## 4. プロジェクト実現に向けた調査

### (1) プロジェクト計画

#### 1) プロジェクトの実施体制

本プロジェクトの施主は Lao Cement Co., Ltd であり、太平洋エンジニアリングがその主たる請負者となることを想定している。体制図を下記に示す。

図 4.1 プロジェクト体制図



#### 2) 工事計画

設備の仕様は以下に述べる通りである。

##### i) 能力

現在計画している補助燃料使用量は 2t/h である。これは補助燃料の収集運搬能力を考慮したものである。

##### ii) 補助燃料種類

年間を通じて発生する米のもみがら中心の補助燃料燃焼設備とする。ただし、現地の要望により、他の補助燃料、たとえばペットボトルや使用済みタイヤ、季節変動があるバイオマス等も使用できるように考慮する。

##### iii) 設備フロー

設備フローの概略は次ページ図の通りである。

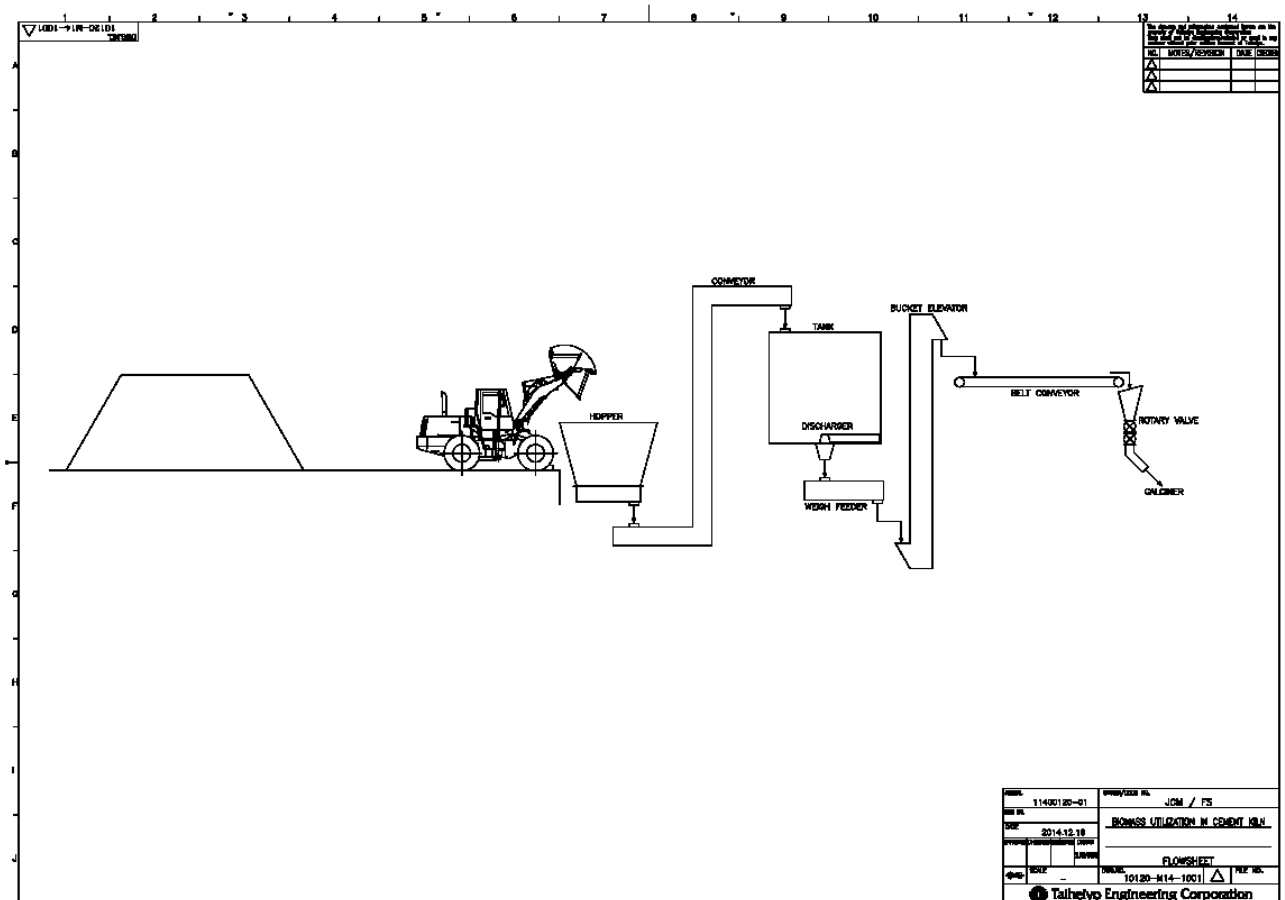


図 4-2 プロジェクト設備フロー

- ・回収された袋詰めもみがらは大型トラックで工場内の集積場に運ぶ。
- ・集積所から補助燃料投入施設まではトラック等で輸送する。
- ・投入ホッパーへは人力で破袋して投入する。袋は再利用する。
- ・ホッパーからは定量フィーダーにより、所定量の補助燃料を定量的に引き出す。
- ・引き出した補助燃料はコンベアで仮焼炉バーナーフロアまで運搬し、エアロックダンパーを介して仮焼炉へ投入する。

## iv)効果

補助燃料を投入する効果は石炭使用量の削減である。燃焼実験の結果もみがらの燃焼効率は微粉炭とほぼ同程度と確認された。しかし、長年の経験により、補助燃料をプレヒーターで燃焼させた場合、微粉炭に比べて約 70%の燃焼効率となることが知られている。

補助燃料の効果は以下のようなになる。

a) Van Vieng No.3 の推定仕様 (公式データが得られなかったため同規模のプラントから推定)

- ・クリンカ生産量 2,500t/d(104t/h)
- ・熱量原単位 : 3,350kJ/kg-clinker
- ・燃料原単位 : 185kg・微粉炭/t-clinker
- ・微粉炭発熱量 : 18,000kJ/kg・微粉炭

b) もみがらによる微粉炭使用量減少量

- ・使用量 2t/h
- ・水分 10%
- ・発熱量 15,500kJ/kg-dry
- ・有効燃焼率 70%とする。
- ・微粉炭相当量概算

$$2000\text{kg/h} \times 0.9 \times 0.7 \times 15500\text{kJ/kg-dry} \div 18000\text{kJ/kg-微粉炭} = 1085\text{kg/h}$$

c) 微粉炭使用量変化

(i) 補助燃料未使用時

$$\text{キルンバーナー} : 185\text{kg/t-clinker} \times 104\text{t/h} \times 0.4 \div 1000 = 7.7\text{t/h}$$

$$\text{仮焼炉バーナー} : 185\text{kg/t-clinker} \times 104\text{t/h} \div 1000 - 7.7\text{t/h} = 11.5\text{t/h}$$

(ii) 補助燃料使用時

補助燃料は仮焼炉に投入するため、仮焼炉バーナーの微粉炭量が減少する。

$$\text{キルンバーナー} : 7.7\text{t/h} (\text{変化無し})$$

$$\text{仮焼炉バーナー} : 11.5 - 1.085 = 10.4 \text{ t/h}$$

$$\text{燃料代替割合は、キルン全体としては、} 1.085 \div (7.7 + 11.5) \times 100 = 5.6\%$$

$$\text{仮焼炉としては、} 1.085 \div 11.5 \times 100 = 9.4\%$$

となる。

v) もみがら以外のバイオマスへの対応

今回設置する設備は原則的にもみがら専用の設備とする。理由は以下の通りである。

a) もみがらは非常に嵩密度が低く、特殊な計量設備を必要とする。

b) もみがら以外の補助燃料は発生状況の調査も未実施であり、本実証設備を用いて実験しながら可能性を探るものとする。

ただし、今後の調査によりその必要性が大きくなった場合は、必要に応じて計量

設備の検討を行うものとする。

3) プロジェクト実施主体の経営体制・実績

Lao Cement Co., Ltd はラオス、中国合弁の国営セメント製造企業で、同国を代表する重工業である。

Lao Cement Co., ltd ( Vang Vieng No.II 工場) は中国とラオスの経済協力の一環として中国のラオスへの借款で建設されたラオス最初の近代的工場で、両国政府によってサポートされている。

中国側は中国雲南国際経済技術公司、ラオス側は Agriculture Industry Development Enterprise Imp - Exp & General Services ( DAI ) の出資により、セメントを生産、販売している。

Vangvieng No.II セメント工場は、2002 年から現在まで、年産 200.000 - 300.000 トンの、バラセメントと 50 kg 袋入り セメントを販売している。品質は ASTM C-150, ISO 9001:2008 及び Chinese standard GB 175-1999 (ISO 679)に準拠している。

次ページから Lao Cement の現状について記述する。

## 参考 Lao Cement Van Vieng 工場の現状

Lao Cement はラオス最大のセメント会社であり4工場を所有している。工場は Vang Vieng I(生産能力 84,000t/y)、II(生産能力 230,000t/y)、Kammuan(生産能力 800,000t)が稼働中であり、Vang Vieng III(生産能力 800,000t/y)は現在試運転中である。

Vang Vieng は首都の Vientiane から北東方向に約 150km に位置する都市で、ベトナム戦争中に米軍によって使用された滑走路跡が街の脇に長い空き地として残されている。移動は自動車により約 3 時間である。道路は整備されているものの途中約 50km は山中の道であり、大型車にとってはハードである。Vang Vieng は自然が豊かなリゾート地として有名であり、欧米のバックパッカーが多く滞在している。そのほか韓国、中国人も多数訪れるが、日本人は少ない。

### (1) Vang Vieng I 工場



#### a) 設立

この工場はラオスで最初に建設されたセメント工場である。

資本金 14 百万 US\$(ラオス政府 100%)

工事開始：1992 年

生産開始：1994 年 (生産機械はすべて中国製)

1997 年末には中国人スタッフはすべて引上げ、100%ラオス人にて運営されて



いる。

b)雇用

従業員：320名(内女性12名)

取締役：3名

ラオス国会議員：43名選出

給与：

正規社員：130万～140万Lak/月(最低額)

契約社員：80万～100万Lak/月(最低額)

従業員にかかるコスト：

平均：400US\$-人/月 最大：1000US\$-人/月

c)製造規格

GB175-99 ISO679-89

d)製造セメント

Type-1：P-42.5、P-525

普通ポルトランドセメント

Mix：P-32.5、P-525

混合セメント

e)原燃料調達

石灰石 距離1km 使用量12万t/年

粘土 距離2km 使用量1.4万t/年

砂岩 距離2km 使用量0.65万t/年

石炭 距離12km 使用量1.6万t/年

混合剤 使用量0.7万t/年

石こう 輸入(タイ)使用量0.4万t/年

f)水源

近郊の川より取水⇒工場内タンク⇒各使用場所

g)生産設備

キルン：縦型キルン 3mφ×10mH 1キルン

原料ミル：チューブミル1基

仕上ミル：チューブミル1基

クリンカーサイロ：500t×4=2,000t

セメントサイロ：500t×5=2,500t

h)生産量

クリンカ：250～300t/日で73,000t/y

セメント：

実績：2011---85,382t、2012---88,888t、2013---90,991、2014目標85,000t

年間生産計画76,000t/yであるが、常に目標を超えた生産を行なっている。2014年度は生産目標を85,000tとした。

## i)石炭

石炭は無煙炭を使用しており、発熱量は 5,000～5,300kcal/kg である(燃料としては低い)

## j)熱量原単位

年間のクリンカー生産量が約 73000t、石炭の使用量が約 16,000t、石炭の発熱量が 5,000～5,300kcal/kg であるから、熱量原単位推定値は以下の通りである。

$$(5000\sim 5300)\times 16000\div 73000=1096\sim 1162\text{kcal/kg-clinker}$$

## k)その他

- ① シャフトキルンの設備であり、内部見学は行わなかったが、順調な運転が行われていることが伺われる。
- ② 従業員数は 320 名とこの規模の工場としては非常に多い。しかし給与は非常に廉価であり、コスト的には問題ないのであろう。
- ③ ラオス最初の本格セメント工場として建設されたため国の誇りとされており、ラオス国の 5000Kip 紙幣の裏面に工場が描かれている。



ラオス国の紙幣に描かれた Van Vieng I 工場

(2) Vang Vieng II



a) 設立

工事開始：1999年

運転開始：2001年

商業運転開始：2002年

ISO9001-2008取得



b) 生産設備

① キルン：ロータリキルン

3mφ×48mL、MFC 仮焼炉(ループダクト付)5段 NSP

仮焼炉燃焼比率は60%が標準である。見学時の運転状況(中央操作室計器の表示)は以下の通りであった。

焼出量：592t/d(24.683t-clinker/h)、原料41t/hであり、  
Clinker factor は約1.65。

微粉炭使用量：キルン-1.68t/h、MFC-2.95t/h、合計4.63t/h、  
MFC(仮焼炉)比率64%

熱量原単位： $5000 \times 4.63 \div 24.683 = 938 \text{kcal/kg-clinker}$

キルン戻温度：860°C

三次空気温度：830℃  
最上段サイクロン出口温度：340℃  
クーラ 1 室圧力：7800Pa

- ② 原料ミル：SEPAX タイプのセパレータ付チューブミル(乾燥室付)



- ③ 仕上ミル：O-SEPA 付チューブミル(1400kw)



調査時の生産量：32.1t/h、ミルの電流は 130A。電源を 6kV とすれば、電力は 1150kw 程度になる。電力原単位は  $1150 \div 32.1 = 35.8 \text{ kwh/t-cement}$  と計算される。

バッグフィルタファンは 15A。O-SEPA は 14A であるから合計電力は約 250kw と計算される。合計動力は  $1150 + 250 = 1400 \text{ kW}$ 。電力原単位は  $1400 \div 32.1 = 43.6 \text{ kwh/t-cement}$  であり、やや高い。

- ④ クラッシャ：  
石灰石と粘土用の 2 台。  
⑤ クリンカーサイロ：7200t



⑥ セメントサイロ：200t×4 基=800t

c)生産量：

クリンカー：220,000～230,000t/y 700t/日

年間運転日数：300～310 日

セメント：230,000～240,000t/y 最大生産実績量 280,000t/y (2005)

d)生産セメント：

Type-1(普通ポルトランドセメント)：80%

Mix (混合セメント) : 20%

e)出荷形態：

袋物：60%、バラ：40% (Type-1 はバラ、袋で、Mix は袋物のみ)

f)原燃料調達：

石灰石 : 20km と 40km 離れた石灰石鉱山より搬入

無煙炭 : 12km 離れた炭鉱より搬入 36,000t～40,000t/y 使用

石こう : タイから購入、輸送距離は約 500km

g)電力

年間使用量：3,400 万 kwh

値段 : 624Lak/kwh (5,000kw 以下)、674Lak/kwh(5,000kW 以上)

h) 熱量原単位：年間のクリンカー生産量が約 220,000～230,000t、石炭の使用量が約 36,000～40,000t、石炭の発熱量が 5,000～5,300kcal/kg であるから、熱量原単位推定値は以下の通りである。

$$(5,000\sim 5,300)\times(36,000\sim 40,000)\div 220,000\sim 230,000 \\ =783\sim 964\text{kcal/kg-clinker}$$

i) 電力原単位

年間使用電力量が 3,400 万 kW、セメント生産量が 23～24 万 t であるから、電力原単位推定値は以下の通りである。

$$3,400/(23\sim 24)=148\sim 142\text{kwh/t-cement となる。}$$

やや高いと思われるが、鉱山や民生用まで含まれるとすれば、妥当な数値の範囲と言える。

j) 要員

CCR(中央操作室)は 4 名体制である。

## k) 代替燃料に関する取り組み

近年無煙炭の資源が少なくなり値段が高くなってきており、コスト削減と資源保護のため、代替燃料を探している。

- ・ 2002年に資源削減プロジェクトを実施した。
- ・ 2007年～FLSがバイオマスの利用でCDMを獲得しようとしたが、契約には至っていない。その理由は、FLS側は10年契約を主張し、LCC側は年度毎の契約を主張しているためである。
- ・ バイオマスの燃焼実験は行ったことがない。
- ・ 都市ゴミからのプラスチックの活用  
タイの会社が選別したプラスチックを売りたいとの話があった。フラフのRDFでプラントは50t/dとのことである。  
また。韓国人が来て、廃プラスチックを代替燃料として使えばいいと話していった。
- ・ とうもろこし、樹皮等  
NGOを介して近郊住民からの話。話に具体性がない。
- ・ Lignite  
代替可能性は高いが、採掘場所が遠い。また化石燃料であるため、CDMの対象とはならない。
- ・ フライアッシュ  
ミックスセメント用に打診があった。

いずれにしても工場側のスタンスは、自分たちで前処理設備を作ることは考えていない。

## l) その他

工場内は非常に清掃が行き届いており、ダストの堆積は見当たらなかった。

- ① 発塵箇所を見かけなかった。これは機器の管理・整備が行き届いているためである。



- ② 代替燃料の使用に関して関心はあるが、積極的に自分たちで動いて獲得する考えはない模様。
- ③ 結果として、現状ではリスクを負わずにメリットのみを得ようとしている姿勢である。
- ④ バイオマス燃焼実験は行ったことがないとのことである。この工場ではまず使用してみて使い勝手やメリット、デメリットを肌で感じてもらう必要がある。

### (3) Vang Vieng III



#### a) 設立

2009 年建設開始

2014 年初試運転開始

III工場は I 工場の敷地に隣接している。

主要設備の写真と能力を次ページに示す。

b)設備

- ① 原料ミル；ローラプレス全粉碎ミル(1250kw×2=2500kw)×1 基



- ② キルン；4mφ×60m、5段サイクロン式NSP。2500t/d ⇒80万t/年



- ③ セメントミル；(ロールプレス付チューブミル+V-SEPA)×2 基、  
回転式のセパレータなし



ロールプレス-560kW×2=1120kW、ミル-1600kW  
生産量は 3500t/d ⇒100万t/年



- ④ クリンカーサイロは 30000t で、10 日分以上の貯蔵能力を確保している。



(4) その他

試運転は 2014 年中に終了し、2015 年はじめから商業運転に入る予定である。中国人技術者が多数滞在している。

- 4) 事業収益性の評価(投資額・売上収入・利益額等の妥当性、プロジェクト IRR 及び投資回収年数を含む。)

前提条件は以下の通りである。

① 設備金額

設備金額 200,000 千円

内訳は表に示す通りである。

	土木建築設備	機械設備	電気計装設備	合計
工事人件費	合計 68,776,	4,845	1,479	6,324
機器代		73,000	22,000	95,000
工事費		20,000	6,000	26,000
設計費		3,000	900	3,900
合計金額			100,845	30,379

提案書、中間報告書に比較して、技術的検討を実施した結果、安定したもみがらの引き出しのできる装置に変更したこと、投入方式を変更したこと、また前回 2010 年積算時からの為替、機器価格の上昇等もあり、3 倍を超える大幅な増加となった。

② 売上収入

本プロジェクトの場合、バイオマスで代替した無煙炭の価格と考えられる。

無煙炭価格(2014 年平均、Lao Cement による)96.7 US\$

計算のための為替レートは 120 円/1US\$を使用した。

よって、計算に使用する無煙炭価格は、 $120 \times 96.7 = 11,604$  円/t となる。

バイオマスを 2t 使用した際に低減できる無煙炭の量は、前述の通り、

$$2000\text{kg/h} \times 0.9 \times 0.7 \times 15500\text{kJ/kg-dry} \div 18000\text{kJ/kg-微粉炭} = 1,085\text{kg/h}$$

年間では、 $1,085/1,000 \times 24 \times 300 = 7,812\text{t/年}$

低減できる価格は、 $7,812\text{t/年} \times 11,604 \text{ 円/t} = 90,650$  千円/年

③費用

本プロジェクトの場合、以下の費用が発生する。

i) 投入設備メンテナンス費用

投入設備のメンテナンス費用は、一般的に設備金額の 3%と仮定する。よって

$$200,000 \times 0.03 = 6,000 \text{ 千円/年とする}$$

ii) 投入設備電力費

投入設備の消費電力は、概略設計段階のため、およそ 30kW と想定する。

年間の消費電力は  $30 \times 24 \times 300 = 216,000 \text{kWh/年}$  となる。

前述の通り電力単価は 674Lak/kWh を使用する。

計算のための為替レートは、100 LAK = 1.4738 JPY (2014/12/30 時点)を使用する。

よって、電力価格は  $674/100 \times 1.4738 = 9.93 \text{ 円/kWh}$  となる。

年間の電力費は  $216,000 \times 9.93 / 1000 = 2,145 \text{ 千円/年}$

### iii) 要員の人件費

Van Vieng での契約社員の給与(前述) 80~100US\$/月 作業員が主なので 80US\$/月とする。

集積所等の人員、工場の人員等 10名と仮定する。

$80 \text{ USD/月} \times 10 \text{ 人} \times 12 \text{ か月/年} \times 120 \text{ 円/US\$} / 1000 = 1,152 \text{ 千円}$

### iv) 運搬トラックの燃料代

実際には、運搬については、セメントの返りトラックを使用するが、方法論ではトラックの運搬距離 20km と仮定して CO2 排出量に計上している。

現地のトラックの燃費は不明であるが、日本での 8t 車の 3.5km/l を仮に使用して、一回当たり軽油使用量を以下の通り計算した。

$20 \text{ km} / 3.5 \text{ km} \approx 6 \text{ l/回}$

$2 \text{ t/h} \times 24 \text{ hr/d} \times 300 \text{ 日} = 14,400 \text{ t}$  のバイオマスを一車 10t 運搬すると仮定すると、延回数は  $14,400 / 10 = 1,440 \text{ 回}$  となる。

ビエンチャンでの経由単価(JETRO 2014 投資コスト比較による)は、1.15US\$/l である。

よって、年間の運送費は

$1.15 \text{ US\$} / \text{l} \times 6 \text{ l/回} \times 1,440 \text{ 回/年} \times 120 \text{ 円/US\$} / 1,000 = 1,192 \text{ 千円/年}$

## ④利益額(売上収入—費用)

②、③項の収入と費用を一覧にすると下表のようになる。

なお、この試算では MRV 外部指導の費用等は含まれていない。

また、もみがらの費用は無料として計算をしている。

(単位:千円)

	収入	費用
無煙炭節約による燃料費低減	90,650	
i) 設備メンテナンス費用		6,000
ii) 投入設備消費電力費		2,145
iii) 要員の人件費		1,152
iv) トラックの燃料代		1,192
費用合計		10,489
差引利益額	80,161	

なお、上記に計上した費用の他に必要となる費用の有無につき、更に調査が必要である。

### ⑤ IRR の計算

上記の数値を使用し、簡易的に IRR を計算した。結果を下表に示す。

年		IRR
初期投資	<b>-200,000</b>	
1	80,161	-
2	80,161	-14%
3	80,161	10%
4	80,161	22%
5	80,161	29%
6	80,161	33%
7	80,161	35%
8	80,161	37%
9	80,161	38%
10	80,161	39%

上表からわかるように、3年目から IRR がプラスに転じ、その後上昇して 30 パーセント台後半となり、本プロジェクトの収支性はかなり高いと言えるが、バイオマスが計画通り収集できることが前提である。

### 投資回収年数の計算

単純投資回収年限の計算結果は以下の通りである。

$$200,000 / 80,161 \div 2.5 \text{ 年}$$

回収年限もかなり短くなっている。

5) 初期投資・維持管理及び MRV に関する資金計画(検討している出資、融資や公的支援等のスキームについて、金額・期間・各資金の負担比率・担保等の条件の調整状況を含むこと。加えて当該資金計画の実現可能性の検討を含むこと。)

初期投資については、環境省設備補助事業への申請と適用、ローカル部分(土工工事、現地製作品)についてはプロジェクト実施対象企業が負担する方向で検討している。本件は、提案時に比較して投資金額がかなり増加したため、調査対象会社の負担をど

のようにして軽減するかを検討してゆく。

維持管理費については、プロジェクト実施対象企業が設備修繕費として通常計上できる範囲内と想定しており、特に公的支援等は必要としないと考えている。

MRV に関して、データ採取は特に測定が必要なものでなく、原料、燃料及びエネルギーの取引記録を説明可能な形で保存することになるので、当初の MRV キャパビルの費用が必要である。これらについては、人材育成のための公的資金の活用を検討したい。また、特に MRV を実施した当初は、その運用が適正かどうかを判断するための立ち入り調査、要員数を確保するための追加のキャパビル等が必要となると考えている。これらに要する費用についても、公的支援適用の可能性について今後の段階では検討してゆく。

#### 6) リスク分析 当該プロジェクト実施において想定されるリスクとその影響及び対応策

##### ● 想定されるリスク

想定される最大のリスクはバイオマス収集に関するものである。

現在バイオマス(もみがら)は組織的に利用されていないが、利用が本格化した際に、以下のような発生側の行動が考えられる。

- 無償でなく、有償での引取りを求めてくる
- 同じ理由で、出し惜しみをしてくる。
- 組織だった買占めをする人物が現れる。

##### ● 影響

これらはいずれもプロジェクトの根幹、すなわち温室効果ガス発生低減量の減少につながり、影響は大きく、極端な事態を発生させないようにする必要がある。

##### ● 対応策

バイオマス収集のビジネスモデルを、win-winのものにしてゆくことが第一である。発生側にとって、現在の置き場が不要になる以上のメリットを享受できるような仕組みづくりが必要である。

発生場所あるいは集積場での取り扱い費に要する人件費の一部負担を当初から実施すべきと考える。

取り扱いに要する人件費を一部負担すれば、バイオマス供給を申し出てくる精米所があることが考えられ、安定供給に大きく寄与する。

#### 7) リスクを踏まえた当該プロジェクトの実現可能性の検討

技術面では、バイオマス(もみがら)自体の燃焼性については、短時間の実験ではあるが、問題ないことが確認された、

今回実施する燃焼試験は、現地での確認とともに、ホスト国関係者の現地体験による啓蒙の意味も大きい。その点では、担当省庁のスタッフの視察が実現し、また偶然ではあるが、Lao Cement のトップマネージメントも実験視察したことは、本プロジェクトへの理解を深めるために大変良い機会であった。

繰り返しになるが、本プロジェクトはもみがらの収集量が事業性に直結するので、もみがらの確保が何よりも重要である。もみがら発生側(精米所)と使用側(セメント工場)、および運搬側(運送業者)の3者にメリットのあるビジネスモデルが構築できれば、本プロジェクトの実現は可能と考える。

#### 8) .その他事業性に係る項目

現地側からは、もみがら以外のバイオマス活用の意向を持っている。他種の農業系バイオマスについては、集積度が低いため、収集費用がもみがらに比べて多く必要と考えられ、季節による発生量の変動も大きい。もみがら以外の農業系バイオマス活用に方針が変わった場合は、事業性は大きく低下すると考えられる。その場合は季節変動を緩和するプロダクトミックスの検討が必要となる。

#### 9) .状況の変化による事業性の変化(感度分析)

上記に示した主なリスクが起こった場合の事業性の変化について以下のケースについてIRRの変化を試算した。

##### ① バイオマス調達が有料となった場合(10US\$/t)

	5年時点でのIRR	投資回収年限
基本ケース(無料)	29%	2.5年
10US\$/tの場合	17%	3.2年
15US\$/tの場合	11%	3.7年
20US\$/tの場合	5%	4.4年

IRRは大きく低下するが、15US\$/tまでであればIRRは10%以上を確保できる。投資回収年限は1年程度延びる。よって、低価格(10US\$/以下)での有償収集を検討する価値がある。

この収集のための費用の一部が、農民の現金収入になるようにビジネスモデルを構築してほしいという要望が、商工省から出された。

## ② バイオマス調達量が予定より少ない量にとどまった場合

	5年時点での IRR	投資回収年限
基本ケース(100%)	29%	2.5年
75%収集の場合	13%	3.5年
66%収集の場合	8%	4.0年
50%収集の場合	-4%	5.7年

試算結果で明白にわかるように、バイオマスの調達量が減少することは直接的に事業性に影響する。2/3の調達量でもIRRは1ケタの数値となり、対象工場側が投資意欲を持つ数字ではなくなってしまう。

よって、バイオマス調達を最優先に今後の詳細調査を実施すべきである。

## (2) プロジェクト許認可取得

本プロジェクトは、既設の設備にバイオマス供給装置を追加設置するものである。

従来使用している化石燃料(無煙炭)の一部を成分のわかっている農業系バイオマスで代替するもので、調査対象工場では排煙の処理設備としてすでに電気集塵機を設置しているので環境関係に影響を及ぼすものはほとんどない。

本プロジェクト実施のために必要となる現地における許認可(環境影響評価の承認を含む)の要否、その内容については、今後現地で確認をすすめる必要がある。

燃焼試験の結果を受けて、環境への影響のないことを確認した後、天然資源環境省、商工省と面談して、許認可が必要の有無、ある場合は許認可を受けるべき内容、申請の方法等を確認することとする。

## (3) 日本技術の優位性

ラオス商工省および天然資源環境省からのヒアリング結果、および受託者の調査した範囲では、もみがらをセメントキルン用燃料として利用した実績は見当たらず、本プロジェクトは、同国内では初の事業である。

なお隣国のタイでは実績があり、調査対象工場の従業員の方も見学したことがあると聞いている。

## 1) セメントキルンでのもみがら処理に関する優位性

もみがらをボイラーで燃焼する事例は多いが燃焼した後に灰が発生する問題がある。もみがら灰の有効利用については、燃焼方法にて非晶質化できればセメント代替として利用する技術の研究は実施されている。

日本国内では収集等の問題からもみがらを代替燃料としてセメントキルンで有効利用する事例はないが、海外(タイ、マレーシア、フィリピン)では事例は多くないものの、有効利用されている。

セメントキルンで有効利用する優位性は灰分もセメント原料の一部として有効に利用が可能であり、二次廃棄物がでないというメリットである。

もみがらを代替燃料として使用するには、表 4-3 に示すように石炭ともみがらの組成比較と熱量当たりの理論燃焼空気量および理論排ガス量が異なることからキルンの運転方法の変更が必要となる。

日本では市場ニーズに応える形でセメントの品質を高品質に保ちながら、一方でコスト低減のために省エネルギーを進めてきた技術があり、更には近年、廃棄物を利用しながら、高品質なセメントを製造してきた技術がある。また、受託者においては日本の優れた代替燃料使用技術を海外へ技術導出してきた実績もあり、経験からも日本の技術が優位であると考えられる。

以下、優位性の理由について、日本のセメント産業の状況や受託者が過去に手掛けたバイオマス活用設備等を含めて詳細に説明する。

表 4-1 もみがらと石炭の比較

分類	dry-base							Wet-base				
	元素分析(%)							低位発熱量(計算値)		A0	G0	水分
	C	H	N	O	S	Cl	灰分	(kcal/kg)	(MJ/kg)	m <sup>3</sup> N/MJ	m <sup>3</sup> N/MJ	(%)
coal	82	4.9	1.9	11	0.33	0.02	9.6	7571.8	31.7	<b>0.26</b>	<b>0.27</b>	0.5
RH	39.17	5.62	1.03	37.86	0.02	-	12.94	3110.3	13.0	0.29	0.34	9.2

A0: 単位熱量当たりの理論燃焼空気量

G0: 単位熱量当たりの理論燃焼排ガス量

## 2) 日本のセメント製造技術

現在、日本国内では約0.5~0.6億トン/年のセメントを製造している。原料粉碎、焼成、仕上粉碎と工程で電気、熱エネルギーの多消費産業であり、同時に直接排出だけでも燃料の燃焼と主原料である石灰石の分解によりCO<sub>2</sub>排出量も多い産業である。

それゆえ、国内では1970年代のオイルショック以降、省エネルギー設備を開発導入し、現在のエネルギー効率は世界最高レベルに達している。

セメント製造プロセスは図 4-3 に示すように原料工程、焼成工程、製品工程、出荷工程で構成される。原料工程では石灰石、粘土、珪石、鉄原料が調合され、乾燥粉碎処理後、セメント原料となる。このセメント原料は予熱・仮焼炉付のセメントキルンにて予熱・仮焼炉にて840℃~860℃で石灰石が脱炭酸反応を生じ、その後セメントキルンに入り、1450℃で焼成され、エー



ライト、ビーライト、アルミネート相、フェライト相の主要鉱物が生成し、熱間で造粒され、黒色塊状のクリンカとなる。このクリンカと石膏を製品工程で粉砕し、所定の粉末度に調整することで、セメントが製造される。

燃料は石炭などの化石燃料を仮焼炉およびキルンに吹き込みバーナで燃焼している。もみがらはこの石炭の代替として利用するとともにもみがらの燃焼した灰はシリカ分が 95%以上あり、珪石の代替として利用される。

従って、単にもみがらを安定的に投入し、燃料として高効率に利用する技術のみならず、セメント製造への影響を評価し、その影響に応じた運転を始めて利用するオペレータへ伝達し、習熟させないと本事業は完成せず、もみがらの利用が定着しないという状況に陥りやすい。

従って、セメントのプロセスをもみがらの利用とともに調整し、セメント生産量を確保するとともにセメントの品質も維持する必要がある。受託者はこの運転調整においても世界各国で様々なプロセスの調整、改善の実績を持つ。

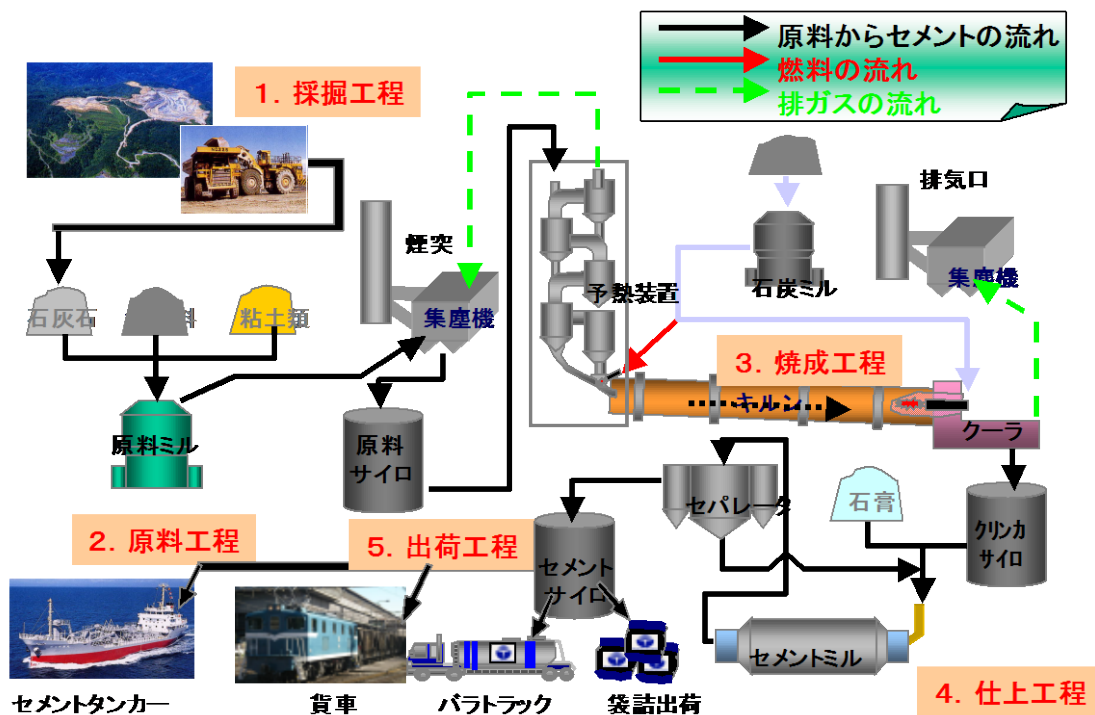


図 4-3 セメント製造プロセス

3) セメント製造プロセスの変遷と生産能力及びエネルギー消費量の推移

セメントクリンカーの製造様式とエネルギー消費量、生産能力の関係を図 4-4 に示す。これまで、セメント産業は大量生産と省エネルギーを目的として製造様式を湿式キルン、乾式キルン、SP キルン(Suspension Preheater 仮焼炉無し),NSP キルン(New Suspension

Preheater（仮焼炉付）と変革してきた。NSP キルンは湿式キルンに比べ、生産能力は 5 倍まで増加し、エネルギー消費量は 40%削減された。現在は NSP キルンが主流で、残り約 20%が SP キルンとなっている。

セメント工業が比較的遅く発達したラオスでは状況が少し異なり、最初のセメント工場は小規模生産に適した竪窯（シャフトキルン）を導入し、その後の増産には NSP キルンが導入されている。現在ラオスのセメント生産量の大部分が NSP キルンによると推測され、近い将来には全量になると予想される。

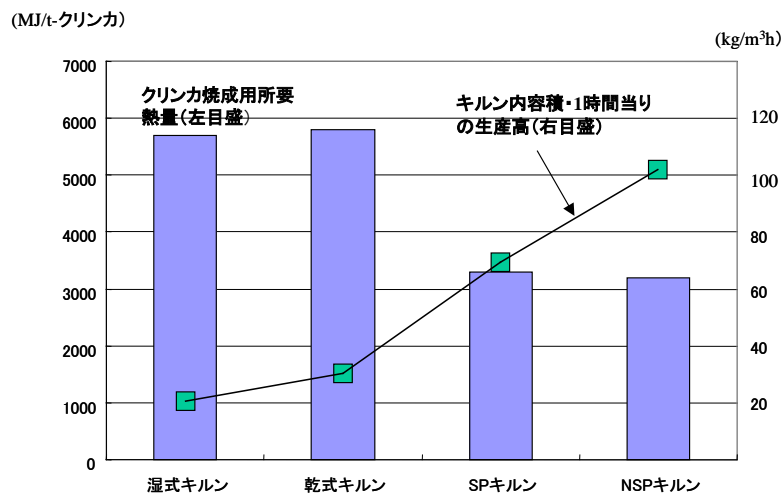


図 4-4 キルン様式と熱量原単位

調査対象工場では竪窯および NSP キルン 2 基が稼動している。

#### 4) 日本のセメント産業の省エネルギー

SP, NSP キルンが主流となった後、クリンカークーラーからの熱回収効率の増加、バーナーでの燃焼効率の向上、廃熱発電装置の設置等、省エネルギー技術を発展させるとともにコスト削減に最も有効である故障率低減及び品質不良率を低減することによって図 4-5 に示すように熱エネルギーや電力を削減してきた。

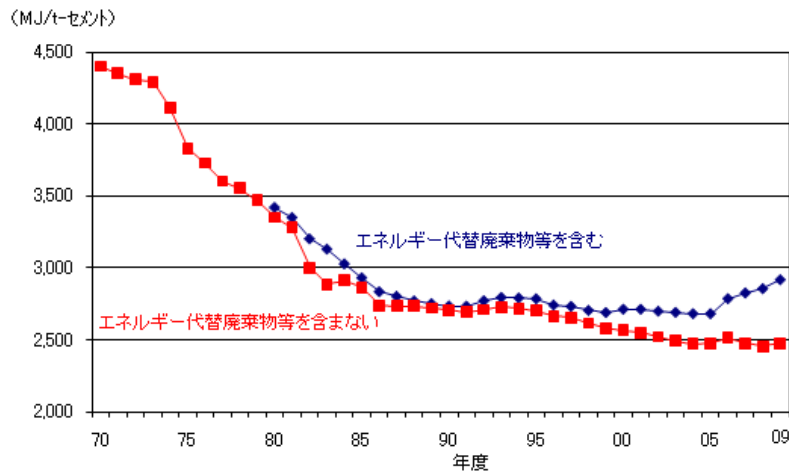


図 4-5 日本のセメント産業での熱量原単位の推移

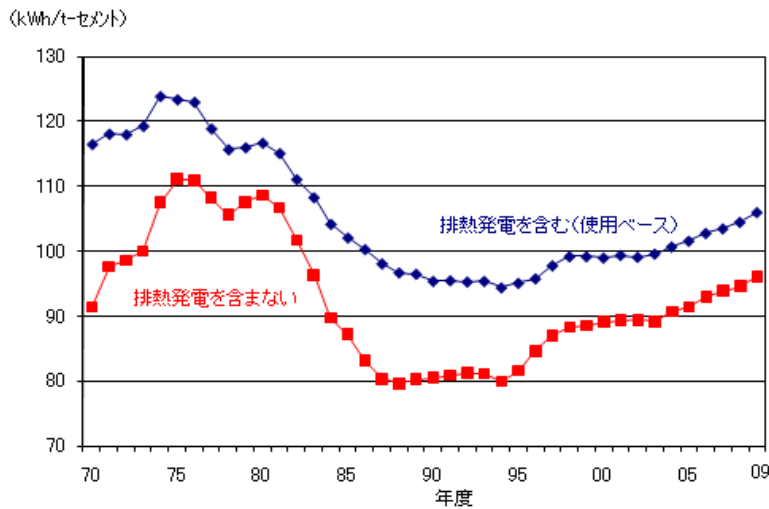


図 4-6 日本のセメント産業での電力原単位の推移

近年、原料及び熱エネルギー代替として廃棄物を有効利用しており、廃棄物由来の水分や塩分によりエネルギーが増加傾向となっている。

上述のように化石燃料代替としてもみがらなどの廃棄物を利用する場合にはメリットだけでなく、デメリットもあり、日本国内の省エネルギーや廃棄物処理で培ったデメリットを最小化する技術を適用することによって効果を最大限引き出せることになる。

#### 5) 日本のセメント産業の廃棄物処理

日本のセメント産業では種々の廃棄物をセメントの原燃料として活用しており、図 4-5 に示すような産業クラスターを形成している。図 4-6 に示すようにごみ焼却炉や他産業で焼却処理され

ていた廃棄物をセメント産業で活用することは社会全体で見ると CO<sub>2</sub> 削減に貢献している。また、廃棄物および副産物の使用量を表 4-2 に示す。セメント 1 トンあたりの廃棄物処理量が 1990 年度では 251kg/t であったのに対し、2012 年度では 481kg/t まで増加している。また、1990 年度では利用されていなかった可燃性廃棄物である廃プラスチック、木屑、肉骨粉等が 2000 年度以降に利用されてきている。このように日本のセメント産業ではセメントの品質を高品質に保ちながら、廃棄物を原料および燃料代替として効率良く、有効利用する技術を保有している。

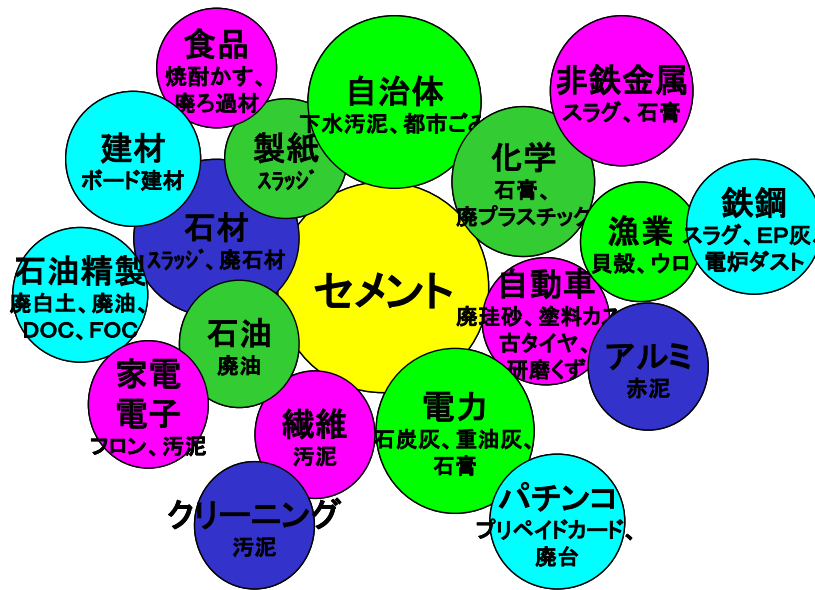


図 4-7 セメントを中心とした産業クラスター

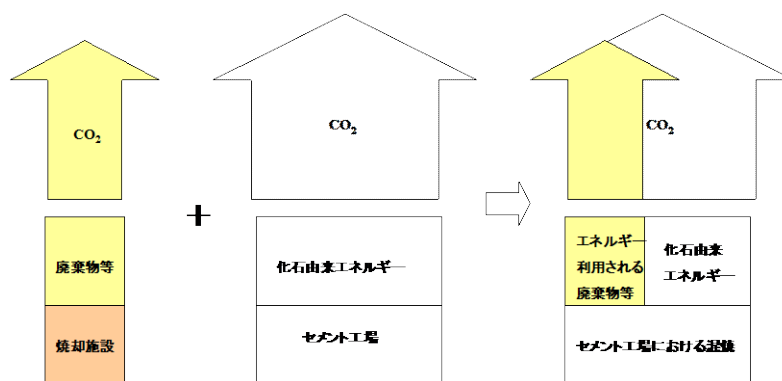


図 4-8 産業クラスター形成による社会全体での CO<sub>2</sub> 削減イメージ

次ページに、日本のセメント産業における廃棄物処理量の推移を示す。

表 4-2. 日本のセメント産業における廃棄物処理量の推移

(単位:千t)

種 類	主な用途	1990年度	2000年度	2010年度	2012年度
高炉スラグ	原料、混合材	12,228	12,162	7,408	8,485
石炭灰	原料、混合材	2,021	5,145	6,631	6,870
汚泥、スラッジ	原料	312	1,906	2,627	2,987
副産石こう	原料(添加材)	2,300	2,643	2,037	2,286
建設発生土	原料	—	—	1,934	2,011
燃えがら(石炭灰は除く)、 ばいじん、ダスト	原料、熱エネルギー	478	734	1,307	1,505
非鉄鉱滓等	原料	1,233	1,500	682	724
木くず	原料、熱エネルギー	—	2	574	633
鋳物砂	原料	169	477	517	492
廃プラスチック	熱エネルギー	—	102	418	432
製鋼スラグ	原料	779	795	400	410
廃油	熱エネルギー	141	120	275	273
廃白土	原料、熱エネルギー	41	106	238	253
再生油	熱エネルギー	0	239	195	189
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	101	323	89	71
肉骨粉	原料、熱エネルギー	—	0	68	65
ボタ	原料、熱エネルギー	1,600	675	0	0
その他	—	361	431	595	835
合計	—	21,763	27,359	25,995	28,523
セメント1t当たりの使用量(kg/t)	—	251	332	465	481

## 6) 受託者のバイオマス利用技術海外導入事例

図 4-7 に示すように受託者は NEDO 事業において、マレーシアにてバイオマス利用設備(タイヤ、PKS(Palm Carnel Shell)、EFB(Empty Fruits Bunch))を活用した事例がある。

同プロジェクトにおいて、受託者は、親会社である太平洋セメント社とともに長年培った省エネルギー技術と廃棄物の有効利用技術を適用して、セメント製造工場において、可燃性廃棄物を化石燃料の代替燃料として活用することにより化石燃料消費量の削減を図り、それらに相応する二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減、及び化石燃料に比べ熱量当たりの単価が安価な代替燃料を使用することによりセメント製造コストの削減を図る事を目的とした。

同プロジェクトはマレーシアのセメント製造会社 CIMA 社(Cement Industries of Malaysia Berhad)とパートナーを組み、CIMA 社傘下のセメント製造会社の NSCI 社(Negeri Sembilan Cement Industries Sdn. Bhd.)を実施サイトとした。使用した代替燃料は、廃タイヤやタイヤ屑(カーボンブラック)とバイオマスとして、パーム椰子の製油工場で搾油後に発生

する EFB(Empty Fruit Banch)および PKS(Palm Kernel Shell)である。本プロジェクトの設備は水分の少ない廃棄物を直接プレコンバスターに投入する設備と、水分の多い廃棄物を乾燥して投入する設備で構成されている。

図 4-9 受託者が設置したマレーシアのバイオマス利用設備

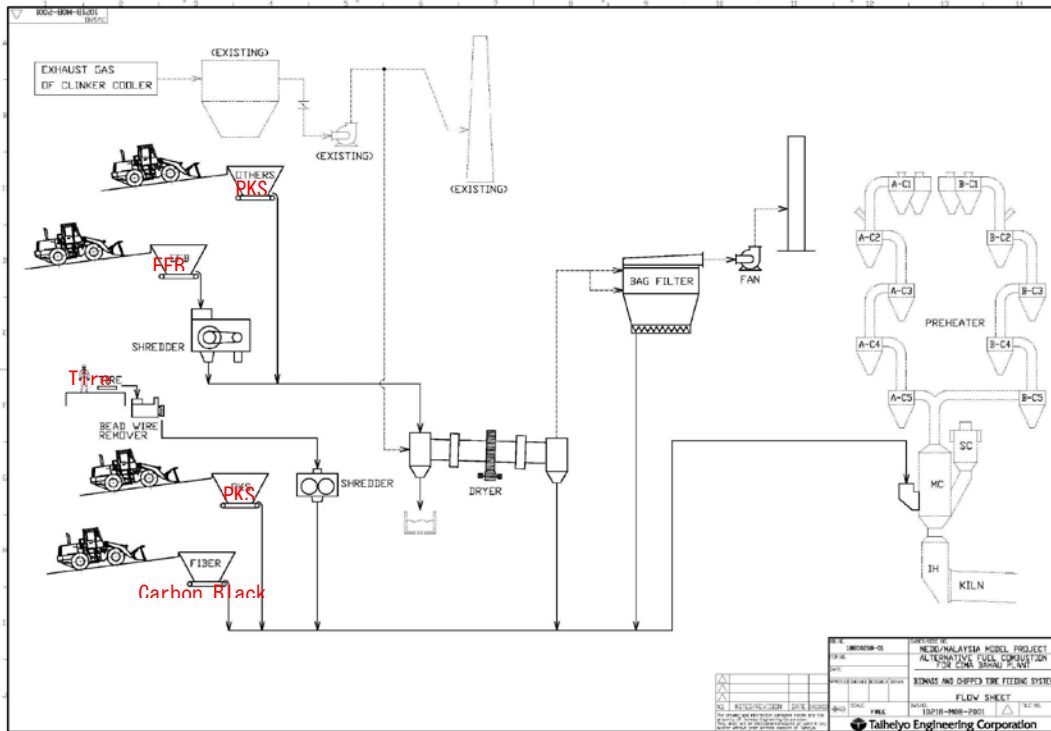


表 4-5 利用した代替燃料

代替燃料	発熱量 (kJ/kg) Gross 気乾ベース	受入時の水分(%)
廃タイヤ	33,490	0
EFB (*1)	16,540	10~50
PKS (*2)	17,500	10~20
カーボンブラック	7,000	-

(\*1) Empty Fruit Bunch

(\*2) Palm Kernel Shell

設備性能試験結果は表 4-4 の通りで、当初目標としていた、石炭削減量 5t/h を達成してい

る。

表 4-4. 代替燃料と石炭削減量

代替燃料使用			石炭削減	
	使用量 (t/h)	投入熱量 (kJ/kg-cli)	石炭削減量 (t/h)	石炭削減熱量 (kJ/kg-cli)
廃タイヤ	0.6	112		
EFB	2.1	176		
PKS	6.8	599		
合計	9.5	887	5.9	817

7) 日本の技術優位性を構成する技術

これまで、受託者が日本国内で培ったセメントキルンの省エネ技術、安定運転技術、廃棄物処理技術、キルン診断技術、これらの伝承技術をもとに海外への技術移転を進めており、当該技術についても日本の技術の海外展開とラオス国での廃棄物処理とセメント製造にとってのメリットの Win-Win の関係となる。

表 4-5 にもみがらを高効率でセメント利用する上での必要な技術を示した。

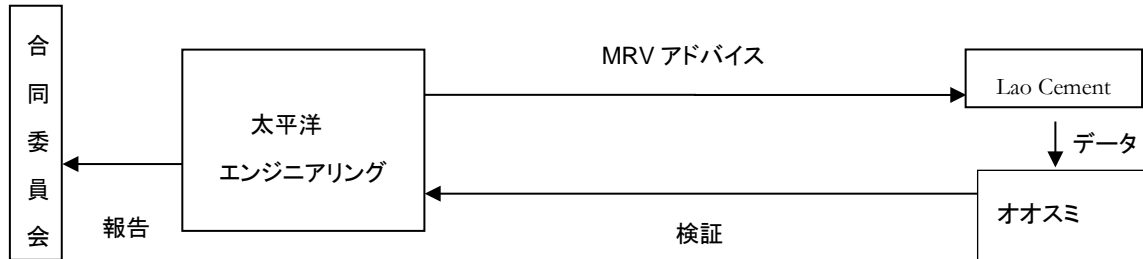
初歩的な設備はどこでも設置できるが、継続してもみがらを高効率で利用できる設備とするには最適化およびその技術を定着させる技術の伝承が必要となる。

表 4-5 もみがらのセメントキルンでの高効率な利用に必要な技術の一覧

発熱量	有効利用	高効率有効利用に必要な技術
15.5MJ/kg	有効利用	粗殻定量供給設備 粗殻送入燃焼技術 キルンオペレーション診断技術 キルンオペレーション最適化技術 環境負荷低減技術 伝承技術
	排ガス持去り熱	※最小化
RHA 10%	セメント原料として利用	セメント・クリンカ品質評価技術

#### (4) MRV 体制

MRV 実施体制については、下図の通り、太平洋エンジニアリングが実施主体となり、オオスミの協力のもとに実施する。



MRV 体制を検討するに当たっては、まず、京都議定書の下で設立・運用されてきたクリーン開発メカニズム(CDM)ではなくて新たな市場メカニズムである二国間オフセット・クレジットメカニズム(JCM)を我が国が提唱している理由を理解する必要がある。

京都メカニズム(等)に加え我が国が提唱するJCMの設立を目指す理由には、概ね次のような事項が考えられる。

- CDMの途上国の様々な諸事情に配慮することのない画一的な追加性の論証
- 特に投資分析に偏重する傾向は、我が国の得意とする省エネ関連 CDMの申請がリジェクトされる可能性が高く、結果、途上国の持続可能な経済成長に不利益をもたらしている
- 事業化に向けた諸手続きの長期間化と申請に向けた経費の問題
- プロジェクト後にクレジットの申請をした結果、取得が叶わない可能性のあるリスク
- 厳密なモニタリングをプロジェクト参加者(PP)に課し、大きな負担になる問題

これら CDM の課題を補完する JCM は、計測・報告・検証(MRV)体制において可能な限りデフォルト値を活用しつつ、BaU よりも保守的なリファレンスシナリオを構築し、モニタリングの簡素化によって PP の負担を抑制するものである。

つまり、JCM は CDM の次期枠組みを見据えた世界の温室効果ガス(GHG)排出削減に向けた重要な交渉課題の一つと考えられ、COP20においてもそのあり方や運営方法等について検討されているところである。

新メカニズムによる GHG 削減を効果的なものにするためには、途上国の新メカニズムに対する理解を促すとともに、GHG 排出削減量の MRV 方法論の確立と、MRV を実施・運営していく体制の整備が不可欠であり、我が国は積極的にアジア、アフリカ、中南米、大洋州を主体に MRV 体制について理解を促す努力を重ねており、既に JCM の実施に向けた調印国は 12 か国となっている。



提案する JCM プロジェクトを成功させるためには、事業実施後もサイト設備が所定の能力を維持でき、保守性の下で確実にクレジット取得を可能とする実施体制を予め構築しておく必要がある。つまり、実証事業実施後のサイト設備へのフォロー実施体制 (MRV 体制) 等の構築が重要となる。加えて、他のセメント工場への展開を見据えた技術普及事業実施体制についても検討しておく必要がある。

実証事業実施後のサイト設備へのフォロー実施体制であるが、①導入されたプラント設備の継続的な維持管理やメンテナンス支援体制の観点と、②排出削減プロジェクトの視点からの MRV 実施の支援体制の観点を考慮する。

実証事業実施後の実施主体は LAO CEMENT 社であるが、キルンへの石灰石の投入量に合わせたもみがら投入量を十分にコントロールされ、且つ JCM のレベルでモニタリングを可能とする精緻なもみがら投入システム技術を提供する太平洋セメントグループの技術的な支援を継続する。特にバンビエンでの成功は、ラオス国内の他のセメント工場への普及の可能性が高いことから太平洋セメントグループとしても支援に向け積極的に対応する予定である。

本調査において太平洋エンジニアリングは、確実な MRV を実現するために地球環境センター殿や関係者と協議を重ねながら、外注先として MRV 方法論等の支援を要請したオオスミを活用しつつ、プロジェクト実施後の GHG クレジット出願に向けた MRV で、JCM 事業としての安定展開に向け継続的に実施主体を支援する。

JCM における MRV 体制に向けては次のことに留意して対応する。

#### ① リファレンスシナリオの設定

BaU は、ラオス国においてこれまでの間セメントプラントの燃料としてバイオマス、特にもみがらが活用されてこなかった現状が継続するものとする。また、現状における石灰岩や石炭等の輸送や電力の消費量等の条件についても変更されないものとする。

なお、リファレンスシナリオは、BaU よりも保守的なリファレンス排出量となるように設定を目指す。

#### ② モニタリング方法論の提案

可能な限りデフォルト値を使用し、モニタリングパラメータの簡素化を実現することによって、クレジット取得に向けた PP の負担軽減を実現する。一方で、PDCA の観点からのモニタリングは考慮し、常に省エネルギーや製品であるセメントの品質の維持・向上を目指すものとする。

あくまで JCM の観点からのモニタリング方法論の提案であり、必ずしも CDM におけるモニタリング方法に影響されることはしない。

#### ③ 排出削減量の計算方法

保守的なリファレンスシナリオの設定とモニタリング方法論、プロジェクト排出量の算定によって、

プロジェクト実施における排出削減量の計算での保守性を確保する。しかし、PP に不利益を与える無意味な(過剰な)保守性は追及しない。

本プロジェクトでは、もみがらによる石炭の一部代替であることから、単純には使用したもみからのカロリー相当の石炭の燃焼が抑制されると考えるが、常に保守性は確保できるように配慮する。

#### ④ 排出削減効果の MRV(測定・報告・検証) 手法

既述のとおり、可能な限り保守性を考慮したデフォルト値を設定し、モニタリングパラメータの簡素化を追求する。しかし、PP に著しく不利益を与えないような MRV が可能となるように配慮する。

なお、実施主体である Lao Cement 社の MRV の実施に当たっては、日本側は信頼性のあるクレジットの取得が実現できるよう支援を行う。

#### ⑤ 環境十全性の確保

環境十全性の確保については、プロジェクトの実施における大気汚染等への配慮のほか、間接的な環境配慮についても考慮し、JCM プロジェクトとして相応しいものとなるように常に心がけるものとする。

#### ⑥ 持続可能な開発への貢献

セメント焼成工程における農業系バイオマスによる石炭代替は、化石燃料の使用量の削減に寄与するものであり、環境十全性に配慮した日本の省エネ製品・技術の導入は、高い経済成長を維持するラオス国の持続可能な開発に貢献するものである。

#### ⑦ コベネフィット効果の評価

廃棄されている農業系バイオマス(主としてもみがら)の活用は、焼却に伴う NOx やダストの発生抑制、嫌気性腐敗によるもみがらの土壌への還元時に一部懸念のある GHG(メタン等)の排出の抑制など、コベネフィット効果も期待される。環境省発行の「コベネフィット定量評価マニュアル」を活用したコベネフィット効果の定量評価などにも配慮する。

JCM 事業の実施に当たり、事業を成功させるための Lao Cement 社側と太平洋セメントグループ側の MRV を含めた全体の業務分担としては下記のように想定する。

#### ① 全体計画・設計段階

《太平洋セメントグループ側》

- JCM 事業の全体計画(本調査で実施中である)
- 基本設計(本調査で実施中である)
- 詳細設計

《Lao Cement 社側》

- 調査への協力

#### ② 設備製造・輸送通関・据付工事・維持管理・MR 支援等

## 《太平洋セメントグループ側》

- もみがら用サイロ、投入設備等の製造
- 輸送通関対応
- 土木工事・設備の据え付け工事の監理
- 設備付帯の配管・配線工事等の監理
- モニタリング機器の準備と据付監理
- 資機材据付監理/試運転指導

## 《Lao Cement 社側》

- 通関、国内輸送等への便宜供与
- JCM に向けた計測データ管理責任者の選定とデータ保存方法についての検討

## ③ 試運転・もみがら投入本格運転・維持管理及び MR 技術支援

## 《太平洋セメントグループ側》

- 試運転・もみがら投入本格運転の支援
- 維持管理技術支援
- MR 技術支援
- MRV のほか、PDCA の観点からの支援

## 《Lao Cement 社側》

- 技術支援に対する積極的な対応
- 実施主体としての JCM 事業であることを認識した対応

## ④ JCM の活用

## 《太平洋セメントグループ側》

JCM の活用については、外注先であるオオスミにも一部負担させる。

- JCM 方法論案の完成(本調査で実施中である)
- モニタリング計画、PDD の作成
- MONRE 及び LAO CEMENT 社側と協議、MoC 記入、TPE 提出・対応
- プロジェクト登録申請書作成・提出
- モニタリング・報告等まとめと支援
- TPE 検証のための書類作成・申請等の支援
- TPE 審査・検証に向けた助言・指導

## 《Lao Cement 社側》

- モニタリング計画、PDD の作成への必要な協力
- MoC 記入、TPE 提出・対応に向けた MONRE 及び太平洋セメントグループとの協議
- 通年モニタリング・報告等の主体的実施
- TPE 検証のための書類作成・申請等

⑤ 本 JCM 事業のラオス国内への普及

《太平洋セメントグループ側》

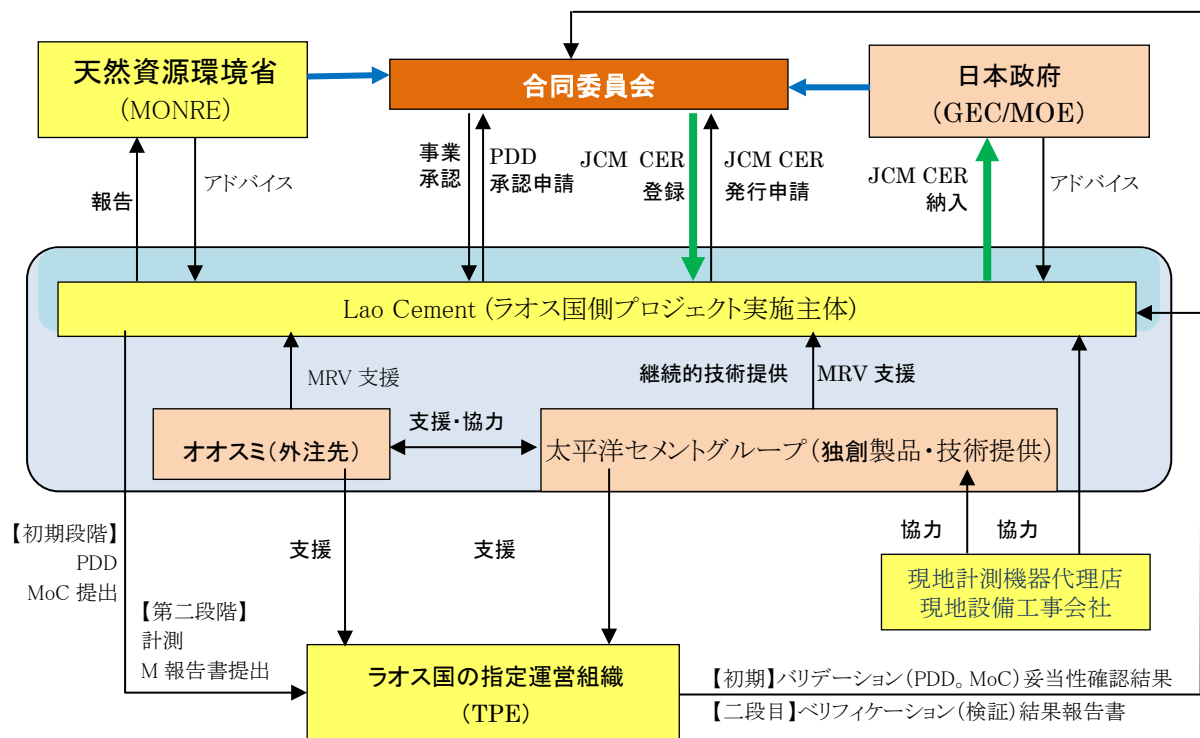
- MRV 結果の発表セミナー
- 政府機関・他のセメント工場等への普及活動
- 在ラオス国日本大使館及び JICA 事務所等日本関係機関への状況ご報告と支援要請

《Lao Cement 社側》

- 太平洋セメントグループ側のラオス国内への普及に向けたアドバイス

上記のことを念頭に、具体的な MRV 体制案について検討した。最終的には、ラオス国天然資源環境省 (MONRE) 及び合同委員会ともご相談申し上げながら、最終的な MRV 体制を構築する計画である。

下図は、JCM 事業に先だって対応すべき JCM 事業登録やクレジット発行申請の段階も含めた全体的な MRV 実施体制案のイメージを示した。



※ JCM CER: 二国間オフセット・クレジットメカニズム(JCM)における GHG 排出削減クレジット

※ 関係者は今回の新規技術を普及するために現場見学会の支援や学会・セミナー等で積極的に成果を公表する。

セメント焼成工程における農業系バイオマスによる石炭代替 MRV 実施体制案

くり返しになるが、既存 CDM の課題を補完する JCM における MRV システムとその実施体制構築によって、日本の環境技術が適正に評価され、途上国の持続可能な経済成長を支援し、結果、世界における GHG 排出削減がより一層推進される、各途上国のニーズに応えられる柔

軟な制度構築を目指す必要がある。同時に、創出されるクレジットは PP の負担軽減の上で保守的に算定されたものであり国際的にも信用され評価されることを目指すものである。

#### (5) ホスト国の環境十全性の確保と持続可能な開発への寄与

JCM においては、世界的な温室効果ガスの排出削減又は吸収に向けた具体的行動を促進することを目標としているが、同時に、環境十全性の確保と持続可能な開発への寄与が強く求められている。

本プロジェクトで導入する日本の温室効果ガス排出低減技術は、燃料多消費産業であるセメント工場にあって、キルンの燃料である石炭の一部をバイオマスによって代替する、ラオス国において初めての取り組みである。バイオマス代替による石炭燃焼量の節減は、工場側にとって省エネルギーメリットが大きく、また、石炭の一部輸入に頼っているラオス国にとっては、エネルギーセキュリティ面からも推奨されるものであり、現地調査において、ラオス国政府関係機関や Lao Cement 社から技術支援に向けた強い期待がよせられている。

同時に、本プロジェクトのラオス国内への展開は、現状におけるバイオマスの屋外焼却による大気汚染、もみがらの投棄・山積することによる土壌への還元とバイオマス発酵による温室効果ガス発生等の周辺環境・地球環境への影響を軽減するものである。これを考慮したうえで、日本の温室効果ガス排出低減技術の優遇普及に向けた取り組みも可能と考えられる。

例えば、プロジェクトの資金計画に JCM の設備補助制度等に関連させ、その利用を促進させるため、温室効果ガス排出削減のため農業系バイオマスの屋外焼却を規制することなどが考えられる。

本プロジェクトが実現したならば、日本が世界に誇るバイオマス燃料安定供給技術の導入とともに、再生可能エネルギーであるバイオマスの適正な利活用に向けた政策提言も行っていきたい。

日本の温室効果ガス排出低減技術の適用によって、環境十全性の確保と省エネルギーで Lao Cement 社にメリットが、さらに将来はクレジットの取得等で日本とラオスの双方にそれぞれメリットが見込める。

JCM の基本理念である、簡素で実用的であって堅固な方法論、そして環境十全性の確保に配慮した透明性の高い JCM 方法論の構築は、JCM の推進に寄与し、結果、ラオス国の持続可能な開発に十分に貢献できる。

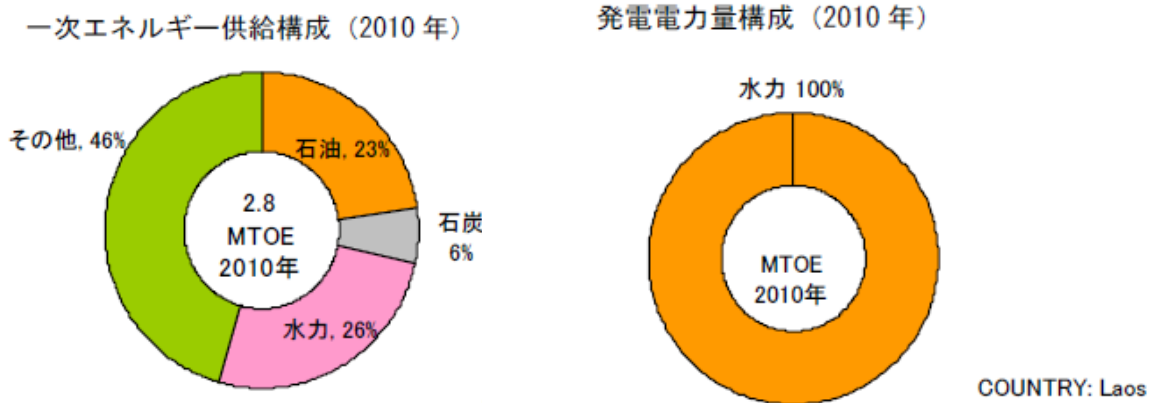
ラオス国の持続可能な開発への寄与について、具体的には次の諸点が挙げられる。

まず、エネルギー多消費産業であるセメント工場を考えた場合、ラオス国のエネルギー事情である。

ラオス国におけるエネルギー資源保有は限定的であり、石炭等一部は確保されているものの、セメント工場では一部輸入に頼っている。工業化が進んでいない内陸国であることもあって石

油やガス産業は整備されておらず、むしろ水力発電や薪等の再生可能エネルギーによる電力や熱供給などが主体である。

ラオス国のエネルギー事情を下図に示す。



(出所) Lao PDR Ministry of Mines and Energy

出典: 日本エネルギー経済研究所 (IEEJ: 2013年10月掲載)

エネルギー自給率は 101.4% (2010年) とされており、水力発電による電力はグリッドで近隣諸国に接続され、特にタイを主体にベトナム、カンボジアなどへ輸出されており、経済の重要な部門に位置づけられている。しかしながら、季節等によっては輸入する場合もあり、ビルドマージン (BM)、オペレーティングマージン (OM) を一層複雑なものとしている。ラオス国における今後の持続可能な開発を考えると、提案する農業系バイオマスによる石炭代替による JCM の貢献は、地域環境にも貢献できるコベネフィットであり、意義深いものであると考えられる。

留意点として、間接的な環境十全性への配慮を挙げておきたい。

セメント産業を対象としたバイオマス利活用における石炭代替は、もみがらに特化したものではなく、本来様々なバイオマスが活用可能である。しかしながら、薪などは大部分を廃棄しているもみがらとは相違し、林地残材の活用等の管理されたものでない場合には森林の劣化や減少を引き起こすものである。例えば、薪の確保と合わせた一石二鳥の対応として一般的な田畑に向かない傾斜地の樹木を伐採してのトウモロコシの栽培がおこなわれ、茎もバイオマスとして排出されるが、結果、土壌養分の流失による土地の劣化や緑被率の減少を引き起こしている。トウモロコシの収穫も数年で大幅に減少していると聞いている。セメント産業に特化したものではないが、ラオス国におけるバイオマス利活用にあつては、大気汚染への配慮のみではなく広く環境十全性への配慮が求められる。本プロジェクトにおいても、JCM であることを踏まえて最大限の環境十全性への配慮を行う。

## (6) 今後の予定及び課題

### 1) 本プロジェクトの実現化の想定スケジュール

2014 年度 プロジェクト調査(FS) →本報告書で報告

Lao Cement, ラオス政府担当省庁への説明

バイオマス添加設備の概略設計

燃焼実験(最終報告書反映予定)

バイオマス収集システムの検討

2015 年度 プロジェクト調査(PS)

Lao Cement の投資決断

バイオマス添加設備の詳細設計

事業スキームの確定

バイオマス収集システムの詳細検討と試験運用

2016 年度 設備補助事業によるプロジェクト実施

設備設置、運用

MRV 開始、現地によるキャパビル

### 2) 課題と解決策

#### i) 調査工場の投資決断

Lao Cement Co., Ltd は、ラオス/中国合弁であり、ラオス側の出資者は DAI 社である。

2014 年 2 月に開催された、ビエンチャンでのワークショップで賛意の表明をいただいたのは DAI の会長で、Lao Cement の副社長を兼任していた。

本調査にあたっては、同社経営トップへ将来の設備補助事業等も交えた説明を実施し、理解を得ているが、同社としての金銭的メリットの額によって判断がなされることが考えられる。、今後も引き続き、特に実験結果を示して再度説明を実施する必要がある。

#### ii) バイオマス運搬、収集システムの構築、確立

プロジェクトに必要な「もみがら」の量を確保するための精米所数の確認、および収集方法のさらなる検討、試験運用によるビジネスモデルの確立が必要である。

また、バイオマス収集の費用負担等についても、事前に具体案の作成をラオス側、とくに関係省庁の意見を確認して、対象工場と共同で確認しておく必要がある。

## (5) JCM 方法論作成に関する調査

方法論ガイドライン(方法論フォーマットを含む)及び関連 JCM 文書等を参照し、方法論開発を行って下さい。その際、特に以下の(1)～(3)に留意して調査を実施し、本報告書に JCM 方法論(案)を添付ください。

### (1) 適格性要件

CDM では、プロジェクトが CDM としての方法論の適用可能条件をすべて満たすことは当然として、「追加性の論証」とプロジェクトのベースラインシナリオが CDM 方法論の想定するベースラインシナリオであることを証明することが求められる。追加性の証明にあつては、投資分析に偏重する傾向があり、この考え方の中には、途上国それぞれの特徴や諸事情が考慮されておらず、特に省エネルギー等に関連した CDM では、単純に経済的な追加性などでリジェクトされるケースが多く見られた。

もみがらを石炭燃料の一部代替とする提案プロジェクトでは、我が国の優れた製品・技術の導入を想定するが、CDM においては、ラオス国のセメント産業においてこれまでに実施されていない諸事情があるものの考慮されず、投資分析において追加性の証明が困難な可能性も考えられる。何故なら、導入される製品・技術自体がそれほど高額ではなく、費用対効果面で優れていることが挙げられる。

JCM では、これらの CDM の課題を補完し、コモンプラクティス(一般慣行)分析による追加性の立証に配慮すべきと考えたい。結果として GHG 削減プロジェクトが円滑に推進されることによって、環境十全性に配慮した途上国の持続可能な発展に寄与するものと考えられる。

JCM や CDM の如何を問わず、プロジェクト実施における環境十全性への配慮は極めて重要と考える。従って、環境十全性への配慮や途上国の持続可能な発展への寄与は、適格性要件に常に含まれるべきものである。

ラオス国では、今後の経済発展に伴うインフラ整備が必要であり、そのための重要資材である良質なセメントの安定生産は重要である。しかし、従来通りの化石燃料を使用しての増産では GHG 排出量の増加や化石燃料資源の枯渇が危惧されエネルギーセキュリティーの面からも配慮が求められる。係る中、水力や太陽光、もみがら等のバイオマスなどの活用が望まれるところである。

一方、十分に燃料として見込めるもみがらとは相違し、他の再生可能なバイオマスの中には、森林の伐採による緑被率の減少や土壌養分の流失等に配慮が求められるケースもあり、このような間接的な環境影響への配慮についても適格性要件として求められると考えたい。

また、クリンカ(セメント)の品質を考慮した、もみがら投入量の安定的コントロールと JCM を踏



まえた定量的で正確なモニタリングを可能とすることも適格性要件である。これらに配慮のない安定性に乏しい製品・技術は比較的迅速・安価に導入され得るが、JCM や CDM としては評価できない。また、故障と修理頻度の多い製品・技術の場合、初期投資費用は安価であっても、中長期的な視点からは決して安価なものとはならない。

提案プロジェクトにおいても、このことを踏まえて日本の優れた低炭素製品・技術の適用を可能とし、ラオス国の環境保全方針に配慮すると共に、同国による適切な緩和行動(NAMA)や持続可能な経済成長にも貢献できるよう、JCM として相応しいと考えられる適格性要件を設定することとした。

セメント工場の焼成炉の燃料を、現在の化石燃料(現地では無煙炭と言われていたが、実質は亜瀝青炭)から一部農業系バイオマスに転換することにより、セメント製造工程において使用する化石燃料が削減され、省エネルギーが図られると同時に温室効果ガス(GHG)発生量を低減することができる。

しかしながら、JCM として事業化に当たっては、ベンチマーク方式やポジティブリスト方式などによる明確な適格性要件の特定が強く求められる。

このことを踏まえ、提案 MRV 方法論適用の適格性要件を下記の通り設定した。

要件1:石炭代替燃料は農業系等のバイオマス残渣であること

要件2:バイオマス残渣(「もみがら」)が他に活用されている場合、本事業の活用によって明確に影響を及ぼさないこと。

要件3:バイオマス残渣使用に伴い、農業等に追加的な負担を強いるものでないこと。

要件4:「もみがら」投入システムは故障が少なく、安定したコントロールが可能であり、製造されるクリンカの品質に悪影響を生じないこと。

要件5:活用する設備が、環境保護のために十分なパフォーマンスを保持していること。

本プロジェクトの適格性要件チェックリストは下表の通りに設定した。全ての要件をクリアすることが JCM として実施可能な条件である。

#### セメント焼成工程における農業系バイオマスによる石炭代替の適格性要件チェックリスト

No.	要件	チェック
1	石炭代替燃料は農業系等のバイオマス残渣であること。	<input type="checkbox"/>
2	バイオマス残渣(「もみがら」)が他に活用されている場合、本事業の活用によって明確に影響を及ぼさないこと。	<input type="checkbox"/>
3	バイオマス残渣使用に伴い、農業等に追加的な負担を強いるものでないこと。	<input type="checkbox"/>
4	「もみがら」投入システムは故障が少なく、安定したコントロールが可能であ	<input type="checkbox"/>

	り、製造されるクリンカの品質に悪影響を生じないこと。	
5	<p>活用する設備が、環境保護のために十分なパフォーマンスを保持していること。</p> <p>(1) 環境に関する規定標準及び類似の標準を遵守すること。</p> <p>(2) 集塵機が据え付けられること。</p>	□

適格性要件の設定理由、特に採用技術(設備・機器等)がJCMプロジェクトとして適格であると考える理由について下記に記載した。また最後に、第三者検証機関の事前評価の観点について、その要点を追記した。

#### 要件1:石炭代替燃料は農業系等のバイオマス残渣であること

天然資源環境省(MONRE) 環境社会影響評価局農業・植林プロジェクト 環境影響評価センター長 Mr. Aengphone Phaengsuwan は、レポート「ラオスの環境問題の現況中央政府の政策的取組み」の中で、気候変動に関連して次のように述べている。

「気候変動に関するラオス国家報告書第2版によると、1990年に2400万トンであった温室効果ガスは2000年には7500万トンと著しく増加したが、それでも域内の他の開発途上国よりも排出量は少ないままにとどまっている。国家環境管理に関する第2次5カ年計画(2011-2015)は、温室効果ガスの主要排出源として、森林の衰退に由来するものが6690万トン、農業活動から570万トン、水力発電事業からの190万トンの3セクターをあげており、産業セクターからは5万トン、産業廃棄物に絡むものは20万トンにとどまっている。」

つまり農業系等のバイオマス残渣を燃料として活用した石炭代替は理に叶ったものであり、環境十全性や持続可能な経済成長に配慮する中で積極的な推進が望まれるところである。

また、ラオス政府は、持続可能な開発とクリーンテクノロジーの推進を目的に、国際機関、NGO、開発パートナーと国家レベルでの強い連携構築に努めていることを述べている。

国家社会経済開発計画の第6次5カ年計画(2006-2010)及び第7次5カ年計画(2011-2015)では、ラオス政府は国民に対して、社会経済開発及び貧困削減を約束する一方で、天然資源の合理的・効果的な活用や良好な環境保全を強く求めている。

更に、政府は各省庁に割り当てられた規制義務の実施状況を評価し、施行の強化を図っているとの環境影響評価センター長の記載もある。

ホスト国において石炭代替燃料として発生するものの多くは、森林及び農業系等のバイオマス残渣である。森林については、違法な伐採による緑被率の減少や土壌養分の流失による劣化などが問題とされており、十分に管理された林地残材の使用でなければ安易に活用することは推奨できない。一方、農業系廃棄物であるもみがらの場合、一部で有効利用されているもの

の限定的であり、ラオス国において殆ど有効活用されていないのが現状である。廃棄による積み重ね(土壌還元)は GHG の発生原因にもなりかねないし、焼却処分は基本的に無駄である。従って、多量発生する農業系廃棄物の活用は、他の廃棄物の有効利用とともにラオス国で第一に取り組むべきものである。

調査団は現地の精米所を 8 か所程度訪問、ヒアリングと現地踏査を繰り返し、精米の状況、もみがら発生量と用途、もみがら廃棄場所と周辺環境、ステークホルダーなどの状況について確認してきた。もみからは精米所の裏に山積み、年月とともに土壌に還元される自然の循環が容易に想定される。この循環は理に叶ったものではあるが、ある意味においては“もったいない”ことでもある。再生可能エネルギーとしての活用に積極的に取り組むべきであるが、ラオス国においてはその大部分を投棄することが一般慣行である。

ヒアリング等の結果は以下のとおりであった。

- ◆ 精米機： 10t/日 (6t の米、4t のもみがら)
- ◆ 米 1 袋： 50 kg
- ◆ もみがら 1 袋 :6.8~8kg.
- ◆ 精米のための電気代： 日本円に換算して 2 万円/月
- ◆ セメント輸送トラックのもみがら積載量:3t (7.5kg/袋×400 袋...ヒアリングからの想定)
- ◆ もみがら有効利用状況(無償にて提供)
  - ・一部飼料用に使用
  - ・一部酒造所の燃料として使用
  - ・有効利用していないのが大部分
- ◆ 幹線道路との位置関係 :多くは国道沿いである(ビエンチャンへのセメント輸送の帰路にトラックにてもみがらを回収できる)

現地の典型的な小規模精米所と、もみがらの投棄の現状を下図に示す。



## 現地の一般的な小規模精米所



もみがら投棄場所の初期状態



もみがら投棄場所の経年状態

精米所の稼働は通年で行われており、通常朝 8 時～17 時、休日は 4 日/月とされている。もみからは精米所の裏側に排出・投棄され、積み重ねられている。満杯になると位置を移動して廃棄が継続されている。当初積み重ねられたもみからは、経年と共に土壤に面する下部から徐々に腐食しつつ土壤に還元され、一部は雨で流されている様子が確認でき、また一部は地下に浸透しているものと推察された。

第三者検証機関の事前評価の観点からは、廃棄物としてのバイオマスエネルギーの出処がどこであるかが重要であり、農業系廃棄物にあって“もみガラ”の活用が明確な場合、ラオス国において、それは一つのポジティブリストとしての適格性要件となる。

林地残材など、他のバイオマスの場合、適正な廃棄物であることが証明されなければ安易に使用することは慎まなければならない。

我が国の対ラオス人民民主共和国「国別援助方針」においても、同国の開発目標達成を支援し、ASEAN が進める統合、連結性の強化、域内の格差是正を図っていく観点から、援助の重点分野(中目標)の中に(1)経済・社会インフラ整備、(2)農業の発展と森林の保全、(3) 教育環境の整備と人材育成、(4) 保健医療サービスの改善について掲げており、特に、環境などにも配慮した経済成長の促進に一層の重点を置いた援助を展開するとしている。

もみガラの燃料としての石炭代替はこれらに寄与するものであり、このことも適格性要件として相応しい。

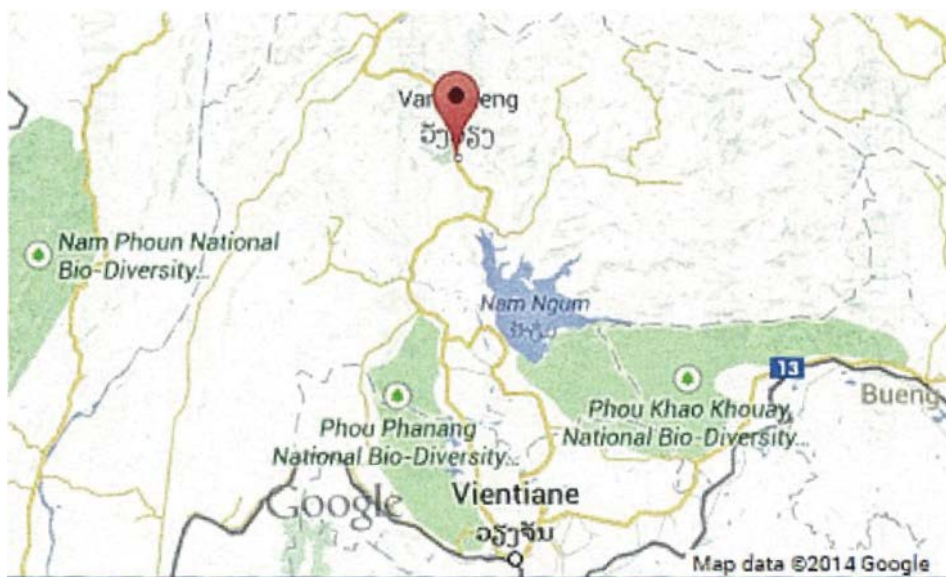
## 要件2: バイオマス残渣(「もみガラ」)が他に活用されている場合、本事業の活用によって明確に影響を及ぼさないこと

ステークホルダーへの配慮は、二国間で実施するオフセットク・レジットメカニズムであることから当然のことである。ある国のように、自国の利益を最優先し、途上国において環境やステーク

ホルダーへの配慮を無視した資源の乱開発のような手法は JCM において許されるものではない。

現地調査における政府関係機関や精米所の関係者からのヒアリング、現地踏査などから、現在、組織的な「もみがら」の活用は実施されておらず、一部で燃料や飼料として利用している他はほとんど放置されて腐朽に任せられていることを確認している。現状から想定し、もみがらをクリンカ製造における燃料として活用することによって従来の小規模活用者、あるいは農業に影響、負担を及ぼすことは基本的に考え難い。しかしながら、JCM としてプロジェクトが実施され、農業系バイオマスが活用される場合には、予め関係する精米所と書面による協定書を取り交わし、もみがらの安定供給とステークホルダーへの配慮を明確とすることが求められる。

第三者検証機関の事前評価の観点からは、上記のような現地調査の結果もあるものの、もみがら回収が想定される多くの関係する精米所の具体的な情報が重要となる。ビエンチャン市街地から北へ約 180km に位置する Vang Vieng、その入り口にセメント工場がある。ビエンチャン市と Vang Vieng の位置関係を下図に示す。



ビエンチャン市と Vang Vieng (精米所は国道沿いに点在する)

この両都市間の国道沿いに点在する多くの精米所のリストと関連情報の収集が必要である。例えば詳細調査において Lao Cement で必要とされるもみがらの量に対し、関係精米所において年間発生するもみがらの量、醸造所の燃料用として引き取られている量、飼料としての利用量(ヒアリングではいずれも無償とのこと)等を明確とし、セメント工場で必要とするもみがらが十分に確保できること、及び精米所や一部もみがら利用者(ステークホルダー)に負担を強いることのないことを客観的に評価できる情報を取りまとめることで対応する。

ラオス国全国の精米所から排出されるもみがらの量は多量であるが、プロジェクトで想定しているのはビエンチャンと Vang Vieng の間の精米所である。ビエンチャンへのセメント輸送の帰路、トラックにもみがらを積み込んで輸送できるからである。この間の精米所から回収されるもみがらは十分に余裕があると想定しているが、詳細調査の中で明確にする必要がある。仮に、十分な余裕のない場合や他地区からのもみがら取得も想定される場合など、強引な回収が無いことを客観的に証明する必要がある。

### 要件3: バイオマス残渣使用に伴い、農業等に追加的な負担を強いるものでないこと

提案するセメント焼成工程における農業系バイオマス石炭代替はもみがらを基本とするが、他の農業系バイオマスも活用することは可能である。仮に、もみがらが不足する場合など、林地残材や間伐材の収集や、バイオマス残渣使用を目的に傾斜地でのトウモロコシ畑の開墾を促すようなことがあってはならない。ラオス国の場合、換金作物としてのトウモロコシの栽培を目的に、樹木を伐採しての傾斜地でのトウモロコシ畑が開墾され、同時に木材の燃料としての活用が行われることがある。しかし結果として、初期はトウモロコシの作柄も良いが数年で土壌養分の流出による土地の劣化が進み、収穫率の減少する要因の一つとされており留意が必要である。また、不法な樹木の伐採は緑地の減少を引き起こす要因ともなっている。

(一社)海外環境協力センター(OECC)がシェン クワン県ドンカン村の SATOYAMA ビレッジ構想において国立ラオス農業大学の関係者を支援し、OECC 現地調査団も数年にわたって現地を訪問しつつ村の農民や関係者と協議を重ねたが、傾斜地の土壌養分の流失によるトウモロコシの収穫の顕著な減少を切実な問題として取り上げていた。

第三者検証機関の事前評価の観点からは、次の確認が成されなければならない。

留意点として、精米所によるもみがら(バイオマス残渣)の発生は精米の結果であり、必然的に精米所に集約して発生するので問題ない。もみがらはセメント工場のセメント輸送トラックが帰路に積み込んで工場まで持ち帰ることができる。従って、石炭燃料の一部代替としてのもみがらの使用は、利用可能なバイオマスとしてポジティブである。

他のバイオマスの場合、取得に向けて農林業者等に負担を強いる(直接的あるいは間接的に、十分な配慮もなく)ようなことがあってはならないし、ラオス国の持続可能な開発方針や環境社会配慮を無視してもならない。仮に、JCM プロジェクトにおいてもみがら以外のバイオマスも活用する場合、PP はこのことを客観的に証明するエビデンスを準備する必要がある。

これらの要点は、「要件2」の適格であると考えられる理由と類似する。

### 要件4: 「もみがら」投入システムは故障が少なく、安定したコントロールが可能であり、製造されるクリンカの品質に悪影響を生じないこと

バイオマスを初めとする代替燃料の活用にあたっては、投入する製造設備の運転の安定性が確保され、製品の品質に悪影響を生じさせないことが大前提である。これは同時に JCM としての必須条件でもある。

我が国の技術は、石灰石と石炭の投入に合わせて、代替燃料であるもみがらの投入量をしっかりとモニタリングし、コントロールすることが可能であり、高品質のクリンカを安定的に製造することが可能である。もみガラ導入システムにあっても、正確にモニタリングもされず、大まかに、感覚的に投入するシステムであれば、ラオスに隣接する国であっても迅速・安価に導入可能である。つまり、もみガラをそれなりに燃焼させることは可能であるが、JCM におけるモニタリングやコントロールが不十分であったり、結果、均一で高品質のクリンカやセメントの製造面で懸念があったりするようでは問題である。従って、安定したコントロールやクリンカの品質に一定の条件を付け、これを適格性要件に含めることは当然のことである。

安価であっても、粗雑なシステムによる安定性の欠如や故障率の問題から、中長期的な視点からは途上国に不利となる場合も多くある。従って、日本の得意とする、安定したもみガラ導入システム及びモニタリング技術の適用を JCM における適格性の要件とした。

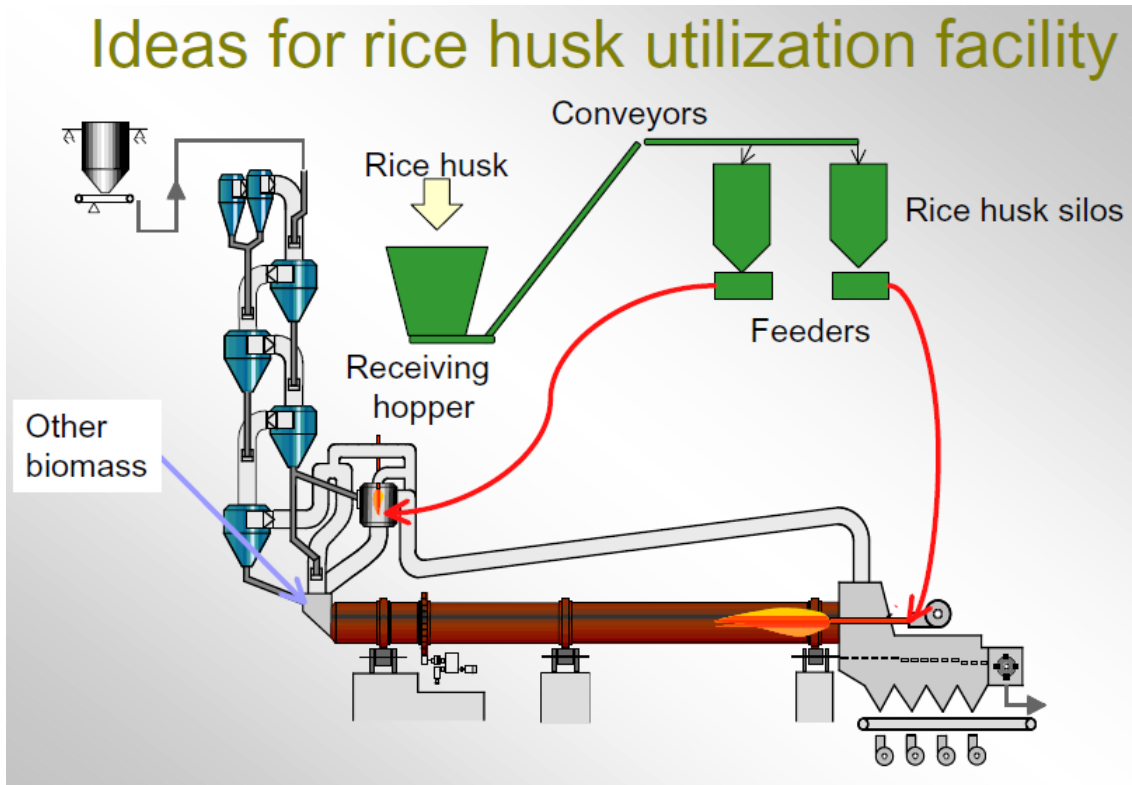
工場のラボでは、セメントの強度等の物理試験や石炭、石灰石等の分析などを行っており、製造されたクリンカやセメントの性能を自らが確認できる。物理試験等の結果、所定のレベル以上の性能の得られることは必須条件である。

第三者検証機関の事前評価の観点からは、実績のある日本メーカーのシステムの導入であれば適格であるとする。なぜならば、バイオマスの燃料としての利用はこれまでに国内外で多くの導入実績があり、クリンカの品質に悪影響を与えず、極めて安定的な稼働により使用者から高い評価が得られていることが挙げられる。

仮に、他国製品が導入される場合、日本メーカーの技術に基づいて製造されていることが求められる。JCM としてはなじまないと考えるが、他国の独自技術に基づく製品の場合、そのメーカーの導入実績について提示を求めると共に投入するシステムの安定性を保証し、適正なモニタリングが可能であることを証明し、製品・技術に対するユーザーの客観的な意見の添付が求められる。また、製品であるセメントについて、所定の性能の得られることを保証することが求められる。

次ページの図は、ロータリーキルンのもみガラ投入システムをイメージしたものである。

日本技術の適用は、JCM の観点からもみがらの燃焼量を管理でき、不適切な燃焼状態からクリンカの品質に影響を与えないようにコントロールできるものである。



ロータリーキルンのもみがら投入システム

**要件5: 活用する設備が、環境保護のために十分なパフォーマンスを保持していること**

- ◆ 環境に関する規定標準及び類似の標準を遵守すること
- ◆ 集塵機が据え付けられること

バイオマスの活用によって環境に悪影響を及ぼすことは許されない。大気汚染や水質汚濁と言った直接的な影響のほか、間接的な環境影響も含まれる。

本プロジェクトを実行する設備には、すでに環境基準を満足する集塵装置が設置されており、実行による直接的な悪影響はない。また、もみがらはその殆どが投棄されており、活用による間接的な影響も想定されない。

次ページの図は、セメントプラントのプレーヒーター側からロータリーキルン及び工場周辺環境を写したものである。





Lao Cement 工場と周辺環境

JCM プロジェクトであるか否かに関わらず、日本の製品・技術の導入における環境への配慮は当然のことであるが、加えて、工場周辺には住宅地はなく、10 km近く離れた Vang Vieng の住宅地への大気汚染等の影響は想定されない。

環境十全性の面から、課題例を取り上げておきたい。

鉱物資源開発においては、昨今ラオスへの外国投資が進められており、天然ゴムを中心とした植林や豊富な水資源を利用した水力発電事業、豊富な地下資源を利用した鉱物開発などである。鉱物資源開発では日本企業も双日・日鉄による銅の資源調査や三井物産によるボーキサイト資源調査などの動きもあるが、最も多いのが中国系企業で、ベトナム、オーストラリアと続いている。課題は、一部の企業であろうと思われるが安価な労働力で環境に配慮しない鉱山開発が行われていることであり、数年前にもラオスの関係者から懸念の発言があった。

日本企業では、環境への配慮を怠る鉱物資源開発は基本的に想定されないが、バイオマスの利活用においても十分な留意が必要である。

第三者検証機関の事前評価の観点からは、大気汚染対策への配慮などの直接的な対応の

ほか、バイオマスの利活用による間接的な環境影響への配慮が成されているかを証明する十分な説明あるいはエビデンスが求められよう。しかし、大部分が有効利用されることなく廃棄されているもみがらの利活用は、間接的な環境影響を与えるものではなくむしろ環境に貢献できるものである。

従って、もみがらの燃料としての石炭の一部代替は、集塵装置の装着によって大気汚染等の直接的な環境影響への配慮はカバーでき、間接的な環境影響についてももみがらの利用であることを条件に原則としてポジティブリストに組み入れられると考えられる。

## (2) リファレンス排出量の設定と算定、およびプロジェクト排出量の算定

### ① 方法論概要

#### a) GHG 排出削減量の手法

GHG排出削減量は、クリンカ焼成工程における農業系バイオマスによる石炭代替によって成される。

MRV方法論適用におけるGHG排出削減量の測定では、トレーサビリティ体系に基づく精度の保証された測定機での測定を基本とする。また、削減量の過剰なディスカウントに陥らないことを条件にデフォルト値の採用を推進し、JCMにおける計測項目の簡素化とのベストミックスを実現する。その背景は次のとおりである。

- ◇ デフォルト化に伴う過剰な保守性担保により、CO<sub>2</sub>排出削減量の大幅なディスカウントを行ったとしても、理論的にそれが説明困難な場合、国際社会の評価に耐えられない可能性も想定される。
- ◇ 過剰な保守性担保は、PPに不利益を与えることとなり、JCMに基づくプロジェクトそのものの魅力を削ぐことにもなり、結果、JCMの評価にも影響しかねない。

以上より、GHG 排出削減量は、リファレンスシナリオにおけるクリンカの石炭原単位、もみがら輸送トラックの原単位や排出係数、石炭等の CO<sub>2</sub> 排出係数などは保守性を考慮したデフォルト値を設定すると共に、JCM 及び PDCA の観点からクリンカ製造量とエネルギー（もみがら、石炭、電力、軽油）消費量の測定によって、定量的且つ正確に求めることを原則とし、合理的な保守性を担保する。

石炭消費に係るGHG排出削減量は、

GHG排出削減量＝リファレンスの石炭消費によるGHG排出量－プロジェクトの石炭消費によるGHG排出量

＝{リファレンスの原単位(Gcal/t-clinker)－プロジェクトの原単位(Gcal/t-clinker)}×クリンカ製造量×石炭のCO<sub>2</sub>排出係数(t-CO<sub>2</sub>/Gcal)] ×保守係数<sup>1</sup>で算定できる。

<sup>1</sup> トラックスケール等の規格度量衡庁の規格合格基準の下限値の比率を採用する。

※もみがらによる石炭熱量代替相当が GHG 排出削減量に相当する。

電力消費に係るGHG排出削減量は、

GHG排出削減量＝リファレンス電力消費によるGHG排出量－プロジェクトの電力消費によるGHG排出量

＝[リファレンスの原単位(MWh/t-clinker)－プロジェクトの原単位(MWh/t-clinker)]×クリンカ製造量×電力グリッドCO<sub>2</sub>排出係数(t-CO<sub>2</sub>/MWh)×保守係数<sup>2</sup>

※プロジェクトにおけるもみがらの供給システムに要する電力が追加的に必要とするものであり、この電力消費に等価のCO<sub>2</sub>排出量が電力のプロジェクト排出量として加算される。基本的に、もみがらの供給システムに要する電力以外の消費電力は、リファレンスシナリオとプロジェクトとの間に相違はない。

#### b) リファレンス排出量の算定

ラオスでは、同国で産出する石灰石と石炭を使用した、セメント製造工場が10ヶ所近く存在する。リファレンス排出量の算定では、現状におけるセメントのエネルギー原単位が維持され则认为る。

代替燃料として期待される農業系廃棄物は、ラオス国において多量に排出されるが、殆ど有効活用されることなく廃棄されていることを確認している。また、積極的な利活用計画も不十分である。従って、現状の原料及び燃料を使用したセメント製造の継続がBaUである。

リファレンス排出量算定における排出源とプロジェクトバウンダリーに含むGHGを下表に示す。

排出源	GHG	Yes/No	説明
プロジェクトにおける消費熱量相当の化石燃料の排出	CO <sub>2</sub>	Yes	主要発生源
	CH <sub>4</sub>	No	微量、単純化のため
	N <sub>2</sub> O	No	微量、単純化のため
バイオマス残渣の廃棄処分や焼却に伴う排出	CO <sub>2</sub>	No	カーボンニュートラル
	CH <sub>4</sub>	No	保守的に対応
	N <sub>2</sub> O	No	微量、単純化のため

なお、現状におけるセメント製造に伴う電力の消費はプロジェクトにおいても相違ない。従って、

<sup>2</sup> 電力量計のラオス規格度量衡庁の規格合格基準の下限値の比率を採用する。

リファレンスにおいても相違ないことになる。プロジェクトにおいて追加的に発生する電力は、もみから投入システムに関わる電力である。

JCM における保守性については、既述のとおり計測器の検定合格基準の許容誤差の上下限値のいずれかを使用して補正・確保する。同時に、保守的なデフォルト値や購買伝票を活用し、モニタリングによる負担の軽減も行う。

また、プロジェクトに至る過去 3 年間のクリンカ製造エネルギー原単位の最小値をリファレンスに使用することも考慮する。しかし、これ以上の過剰な保守性は追及しない。

CDM にあつては、地域特性等を見せし、画一的にベースラインや追加性の考え方等方法論を適用し、途上国によってはプロジェクト化できない欠点があつた。JCM にあつては、保守性を考慮したリファレンスシナリオやポジティブリスト的なイメージの適格性要件と言つた柔軟で簡素な手法を取り入れ、PP の負担の軽減と円滑な GHG 削減の推進を図ることに主眼を置いたものと理解される。

提案する本方法論は、このような CDM の課題を補完するまさに JCM である<sup>3</sup>。

### c) プロジェクト排出量の算定

プロジェクト排出量の算定は、セメントプラントのクリンカ製造量と石炭投入量、電力供給量、プラントへのもみから等輸送それぞれのCO<sub>2</sub>排出係数からCO<sub>2</sub>排出量を算定する。

なお、プロジェクト排出量の算定では、もみから使用によるカロリーベースの石炭代替量についても算定する。そして、石炭の実投入量ともみからによる石炭代替量からのCO<sub>2</sub>排出量の算定結果を比較し、過小な排出量を採用することによって保守性を確保する。

プロジェクト活動において石炭灰等の添加を伴う場合には、その量に等価の石灰石からのCO<sub>2</sub>排出削減量を考慮する。

排出量算定におけるプロジェクトバウンダリーは、次に示すクリンカ生産に係る全ての項目とする。

- ◆ プレヒーター
- ◆ ロータリーキルン
- ◆ 代替燃料の輸送車両

<sup>3</sup> CDM 的な発想では、近隣諸国でバイオマス等の利活用が推進されている場合、バイオマス残渣による化石燃料の一部代替は、この状況を組み入れたものを BAU とする考え方が適用される可能性がある。ここに CDM の大きな課題がある。

- ◆ もみがら受入ホッパー、コンベヤー、サイロ、フィーダー
- ◆ その他のクリンカ生産に係る工程

なお、リーケージについては、石炭の採掘や輸送、モミガラが廃棄されることによるGHGの排出などが想定される。もみがら使用による石炭代替は、その相当量のリーケージからのGHG排出が抑制されるが、JCMにおける保守性の観点から考慮しないこととする。

石炭消費に伴うプロジェクト排出量

$$= (\text{プロジェクトの原単位 (t-coal/t-clinker)} \times \text{クリンカ製造量}) \times \text{CO}_2\text{排出係数} \times \text{保守係数}$$

電力消費に伴うプロジェクト排出量

$$= (\text{プロジェクトの原単位 (MWh/t-clinker)} \times \text{クリンカ製造量}) \times \text{CO}_2\text{排出係数} \times \text{保守係数}$$

もみがら等輸送に伴うプロジェクト排出量

$$= (\text{農業系バイオ燃料の年間使用量} \div \text{輸送トラックの平均積載量}) \times \text{トラックの平均輸送距離} \times \text{トラックのCO}_2\text{排出係数} \times \text{保守係数}$$

なお、プロジェクト排出量の算定における保守性については、“GHG排出削減量の測定”に記載の通り、次の2点で担保する。

- 保守係数を乗じる。
- BaUよりも保守的なCO<sub>2</sub>排出原単位を採用する。

#### d) モニタリングパラメータ

モニタリングパラメータと測定頻度等は下記のとおりである。

パラメータ	測定頻度	備考
石炭投入量	毎日集計記録	実際には炭鉱でラオス規格に基づくトラックスケールでの計量結果の採用を考える。
もみがら投入量	トラック毎、毎日集計記録	トラックスケールで計量 もみがら受入ホッパーへの投入量で計量
もみがらの含水率	毎日	分析室にて計測
石灰石投入量	トラック毎、毎日集計記録	トラックスケールで計量
クリンカ製造量	毎日集計記録	計算による。

セメント製造量	毎日集計記録	袋詰めセメント：パッキングマシンでの計量、トラックスケールでも計量。
使用電力量	毎月	毎月の検針データのほか、リアルタイムに計量することも可能である。
軽油消費原単位	毎月	もみがら輸送トラックの注油伝票と走行距離（デフォルト値; 計画）
もみがら輸送量	各トラック積載量	トラックスケールで計量

収集データ又はデフォルト値に関連するものを下記に示す。

- ◆ 電力グリッドのCO<sub>2</sub>排出係数 (t-CO<sub>2</sub>/MWh)
- ◆ 石炭の種類 (カロリー) 別のCO<sub>2</sub>排出係数のIPCCデフォルト値 (t-CO<sub>2</sub>/t-Coal、又はt-CO<sub>2</sub>/GJ)
- ◆ 石炭の発熱量 (GJ/t-Coal)
- ◆ もみがらの輸送距離 (km) (20 km/トラック) もみがらの収集はビエンチャンへのセメント輸送の帰路に行く。
- ◆ 軽油のCO<sub>2</sub>排出係数 (t-CO<sub>2</sub>/GJ) (IPCC)
- ◆ もみがらの乾燥時の発熱量 (GJ/t-rice husk) (計測により決定)
- ◆ もみがら運搬用トラックのCO<sub>2</sub>排出係数 (t-CO<sub>2</sub>/km)

## ② GHG 排出源及び GHG 種類

リファレンス排出量	
GHG 排出源	GHG 種類
燃焼施設で使用されたであろう化石燃料(石炭)	CO <sub>2</sub>
製造プロセスで消費されたであろう電力	CO <sub>2</sub>
石炭等の輸送のための車両の液体燃料消費量	CO <sub>2</sub>
N/A	N/A
N/A	N/A
N/A	N/A
プロジェクト排出量	
GHG 排出源	GHG 種類
燃焼施設で使用された化石燃料(石炭)	CO <sub>2</sub>
製造プロセスで消費された電力	CO <sub>2</sub>

石炭等の輸送のための車両の液体燃料消費量	CO <sub>2</sub>
もみガラ輸送のための車両の液体燃料(軽油等)消費量	CO <sub>2</sub>
N/A	N/A
N/A	N/A
N/A	N/A

備考：GHG種類におけるCO<sub>2</sub>は主要なGHGである。石炭及び電気並びに輸送車の液体燃料に伴うGHGの排出は、CO<sub>2</sub>のほかCH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oがあるが、リファレンス排出量及びプロジェクト排出量におけるCH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oの排出は、簡素化・保守性の担保から算定対象外とする。

### ③ リファレンス排出量の設定と算定

#### a) リファレンス排出量の設定

BaUは、設定されたプロジェクト期間中もみガラが燃料として消費されず石炭が継続的に使用され続けることである。従って、リファレンス排出量におけるパラメータとしては、クリンカ製造に伴う石炭及び電力である。なお、石灰石及び鉄鉱石の輸送に伴うトラックからの排出量については基本的にリファレンスとプロジェクトで変化はないので考慮しない。石炭については、プロジェクトにおけるもみガラの使用によって石炭消費削減相当のトラック輸送が軽減されるが、保守的に考慮しないこととする。また、石炭採掘等のリーケージについても同様に考慮しない。リファレンス排出量の設定に関しては、保守性を担保することによって、BaU とプロジェクト活動の間にリファレンスが位置していると見ることができる。

提案する方法論では、排出削減量の算定に重要なパラメータがデフォルト値として保守的に設定されており、また、計算においても保守的な手法を採用している。

保守性を重視した方法論によって、プロジェクトによって求められる排出削減量の結果は、BaU に基づく排出削減量よりも低く算定されることを保証することができる。

後述する「(3) プロジェクト実施前の設定値」にリファレンスシナリオのためのパラメータの実施前の設定値(デフォルト値)とその設定根拠を詳細に明示しているので参照戴きたい。

この報告によって提案された、リファレンス排出量の算定と設定は、Lao Cement のバイオマス使用計画に適用される。通常、方法論は一般的に複雑で厄介である。そのために、我々がJCM においてリファレンス排出量の設定で考えたことは、プロジェクト参加者(PP)の負担を軽減する“simple is best”の考え方である。

なお、プロジェクト期間中に、法規制によってバイオマス燃料の使用が義務付けられた場合には、その規制値をリファレンスとする。

#### b) リファレンス排出量の算定

リファレンス排出量は次の通り算定する。

$$RE_y = RE_{coal,y} + RE_{elec,y} \dots\dots\dots \text{数式 1}$$

ここに、

$RE_y$  : プロジェクト活動が無かった場合の、リファレンス活動に伴って排出されたであろう総排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

$RE_{coal,y}$ : プロジェクト活動が無かった場合の、セメントプラントのクリンカ製造に関連した石炭消費に伴うリファレンス活動排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

$RE_{elec,y}$ : プロジェクト活動が無かった場合の、セメントプラントのクリンカ製造に関連した電力消費に伴うリファレンス活動排出量 (t-CO<sub>2</sub>/y)

$$RE_{coal,y} = \sum_{i=1}^{12} FC_{RE,y,i} * EF_{coal,CO_2,y} * f_{scale,y}$$

$$= \sum_{i=1}^{12} (\text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} * SFC(C)_{RE,y,i}) * EF_{coal,CO_2,y} * f_{scale,y} \dots\dots\dots \text{数式 2}$$

$$SFC(C)_{RE,y,i} = FC_{RE,y,i} / \text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} \dots\dots\dots \text{数式 3}$$

$$\text{CementGN}_{PJ,y,i} = \text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} + M(\text{Gyp})_{PJ,y,i}$$

$$M(\text{Gyp})_{PJ,y,i} = \text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} * M(\text{Gyp})_{rate RE}$$

$$\text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} = M(\text{Lim})_{PJ,y,i} + M(\text{Iron})_{PJ,y,i} - \text{Loss}_{PJ,y,i}$$

$$M(\text{Iron})_{PJ,y,i} = \text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} * M(\text{Iron})_{rate RE}$$

※クリンカの量に対する石膏の混合割合 (5.0%) は決められている。

※石灰岩の量に対する鉄鉱石の混合割合は決められている。

※石灰岩、鉄鉱石、石膏の消費量計測は、PDCA の観点から実施する。従って、計測結果は CO<sub>2</sub> 排出量の算定に使用しない。

$$RE_{elec,y} = \sum_{i=1}^{12} EC_{RE,y,i} * EF_{elec,CO_2,y} * f_{elec,y}$$

$$= \sum_{i=1}^{12} (\text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} * SFC(E)_{RE,y,i}) * EF_{elec,CO_2,y} * f_{elec,y} \dots\dots\dots \text{数式 4}$$

$$SFC(E)_{RE,y,i} = \sum_{i=1}^{12} EC_{RE,y,i} / \sum_{i=1}^{12} \text{ClinkerGN}_{PJ,y,i} \dots\dots\dots \text{数式 5}$$

ここに、

$FC_{RE,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト活動が無かった場合の、クリンカ製造に係る想



定される石炭消費に伴う発熱量 (GJ/month)

$$FC_{RE,y,i} = PFC_{RE,y,i} \times NCV_{c,y,i}$$

$PFC_{RE,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト活動が無かった場合の、クリンカ製造に係る想定される石炭消費量 (t-coal/month)

$NCV_{c,y,i}$  : クリンカ製造に使用される石炭の真発熱量 (GJ/t-coal)

$EF_{coal,CO_2,y}$  : (y 年における) 石炭の  $CO_2$  排出係数 (t $CO_2$ /Gcal)

$f_{scale,y}$  : (y 年における) トラックスケールの保守係数 (-)

$CementGN_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト実施後のセメント製造量 (t-clinker/month)

$ClinkerGN_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト実施後のクリンカ製造量 (t-clinker/month)

$SFC(C)_{RE,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト活動が無かった場合に想定される単位クリンカ製造量当たりの石炭消費原単位 (t-coal/t-clinker)

$M(Gyp)_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) クリンカ製造のための石膏使用量 (t-gypsum/month)

$M(Gyp)_{rateRE}$  : クリンカの量に対する石膏の混合率 (5.0%) は決められている (-)

$M(Lim)_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) クリンカ製造のための石灰石使用量 (t-limestone/month)

$M(Fe)_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) クリンカ製造のための鉄鉱石使用量 (t-iron ore/month)

$M(Fe)_{rateRE}$  : クリンカの量に対する石灰石の混合率は決められている (-)

$LOSS_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト実施後のクリンカ製造ロス (t-loss/month)

$EC_{RE,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト活動が無かった場合の、クリンカ製造に係る想定される電力消費量 (MWh/month)

$EFelec,CO_2,y$  : (y 年における) グリッド電力の  $CO_2$  排出係数 (t $CO_2$ /MWh)

$f_{elec,y}$  : (y 年における) 電力メーターの保守係数

$SFC(E)_{RE,y,i}$  : (y 年 i 月における) プロジェクト活動が無かった場合に想定される単位クリンカ製造量当たりの電力消費原単位 (MWh/t-clinker)

非常にシンプルな算定式であり、パラメータの殆どは妥当な設定根拠に基づいたデフォルト値として事前設定されることから、PP に大きな負担を強いることなくリファレンス排出量の算定が可能である。

#### [備考]

各スケールの規格による検定は毎年 1 回実施されている。合格基準は下記の誤差範囲内である。

計量器: トラックスケール

軽量範囲と誤差: 50t±20kg (Class III)

検定標準; 重量国家標準クラス M1 準拠

構成方法: 重量計測実地テスト

スケールの保守係数は、この許容誤差の下限値を採用した係数であり、計測値が過大となっ

て CO2 排出削減量が過大とにならないようにしたものである。

#### c) リファレンス排出量の算定結果

スプレッドシートで計算したリファレンス排出量の計算結果を下記に示す。

今回の計算では、過去3年間の平均値のうち、保守性を勘案して、2011～2013年の各年平均のうち、クリンカの石炭原単位が最小値を示した年の値をリファレンスとした。また、生産量も2011～2013年の各年平均の内、クリンカの石炭原単位が最小値を示した年の値を採用した。また、無煙炭の発熱量も2011～2013年の最小値を採用して保守性の確保を行った。

化石燃料消費により発生する CO2	71,089t-CO2/year
電力消費により発生する CO2	19,465t-CO2/year
合計 CO2 排出量	90,554t-CO2/year

#### ④ プロジェクト排出量の算定

プロジェクト排出量の算定におけるパラメータ等としては、クリンカ製造に伴う石炭及び追加的に消費される電力の他、バイオマス残渣(もみがら)の消費が挙げられる。また、もみがらのトラック輸送はビエンチャンへのセメント輸送の帰路に積載して運搬することから限定的であるが、保守的に GHG の排出量を考慮する。なお、石灰岩等の輸送はリファレンス及びプロジェクトシナリオにおいて相違がないものと考えられるので考慮しない。石炭の輸送についてはもみがら使用相当のトラック輸送が軽減されるが保守的に考慮しない。

農作物の栽培に係る年間排出量も、もみがらは廃棄物として副次的に発生するものであり、ここではプロジェクトからの排出量として考えない。

農作物からの年間排出量は、もみがらが精米時に二次的に発生するものであることから、プロジェクト排出量に含めない。

プロジェクト排出量は次の通り算定する。

$$PE_y = PE_{coal,y} + PE_{elec,y} + PE_{Tr,y} + PE_{BC,y} \dots \dots \dots \text{数式 6}$$

ここに、

$PE_y$  : プロジェクト活動に伴う排出量 (t-CO2/ y)

$PE_{coal,y}$  : セメントプラントのクリンカ製造に関連した石炭消費に伴うプロジェクト活動排出量 (t-CO2/ y)

$PE_{elec,y}$  : セメントプラントのクリンカ製造に関連した電力消費に伴うプロジェクト活動排出量 (t-CO2/ y)

PE<sub>Tr,y</sub> :もみがら輸送に伴うプロジェクト排出量(t-CO2/ y)

PE<sub>BC,y</sub> :農作物の栽培に伴う排出量(t-CO2/ y) (考慮しない)

$$PE_{coal,y} = \sum_{i=1}^{12} FC_{PJ,y,i} * EF_{coal,CO2,y} * f_{scale,y}$$

$$= \sum_{i=1}^{12} (ClinkerGN_{PJ,y,i} * SFC(C)_{PJ,y,i}) * EF_{coal,CO2,y} * f_{scale,y} \dots\dots\dots \text{数式 7}$$

$$SFC(C)_{PJ,y,i} = FC_{PJ,y,i} / ClinkerGN_{PJ,y,i} \dots\dots\dots \text{数式 8}$$

又は、

$$PE_{coal,y} = RE_{coal,y} - PER_{Husk,y}$$

$$PER_{Hull,y} = \sum_{i=1}^{12} ((M_{(Hulls),y,i} * NCV_{Hull,y,i}) / NCV_{C,y,i}) * EF_{coal,CO2,y} - PE_{Tr,y} \dots\dots\dots \text{数式 9}$$

➤ もみがらによる石炭代替からの CO2 排出削減を計算

$$PE_{elec,y} = \sum_{i=1}^{12} EC_{PJ,y,i} * EFelec,CO2,y * f_{elec,y}$$

$$= \sum_{i=1}^{12} (ClinkerGN_{PJ,y,i} * SFC(E)_{PJ,y,i}) * EFelec,CO2,y * f_{elec,y} \dots\dots\dots \text{数式 10}$$

$$SFC(E)_{PJ,y,i} = \sum_{i=1}^{12} EC_{PJ,y,i} / \sum_{i=1}^{12} ClinkerGN_{PJ,y,i} \dots\dots\dots \text{数式 11}$$

$$PE_{Tr,y} = \sum_{i=1}^{12} \left[ \frac{M_{(Hulls),y,i}}{TL_{Tr,y,i}} \times AVD_{Hulls,y,i} \times EF_{tr,CO2} \right] \dots\dots\dots \text{eq—12}$$

➤ “AVD Husk, y,i “は、一般に往復距離で計算されるが、本プロジェクトでは殆ど無視できるレベルである。なぜならば、トラックによるピエンチャンへのセメント輸送の帰路に国道沿いの精米所からもみがらを収集するからである。

しかし、保守性を考慮して一定の輸送距離 (=20 km/トラック) を想定する。

$$PE_{BC,y} = 0 \dots\dots\dots \text{数式 13}$$

➤ コメは燃料を目的として栽培しているものではない。また、もみがらはほとんど利用されないで廃棄されているものである。

ここに、

$FC_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト活動によるクリンカ製造に係る想定される石炭消費に伴う発熱量(Gcal/month)

$$FC_{PJ,y,i} = PFC_{PJ,y,i} \times VCV_{cal}$$

$PFC_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト活動が無かった場合の、クリンカ製造に係る想定される石炭消費量(t-coal/month)

$NCV_{cal}$  :セメント製造に使用される石炭の真発熱量(GJ/t-coal)

$EF_{coal,CO_2,y}$  : (y 年における)石炭の CO<sub>2</sub> 排出係数(t-CO<sub>2</sub>/Gcal)

$ClinkerGN_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト実施後のクリンカ製造量(t-cement/month)

$SFC(C)_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト実施後の単位クリンカ製造量当たりの石炭消費原単位(t-coal/t-cement)

$M_{(Hulls), y, i}$  : (y 年 i 月における)クリンカ製造のためのもみがらの月間使用量(t-hulls/month)

$PER_{Hull,y,i}$  :プロジェクトにおけるもみがらの CO<sub>2</sub> 排出削減量

$NCV_{Hull,y}$  :クリンカ製造のための乾燥したもみがらの真発熱量

$EC_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト実施後のクリンカ製造に係る想定される電力消費量(MWh/month)

$EFelec,CO_2,y$  : (y 年における)グリッド電力の CO<sub>2</sub> 排出係数(tCO<sub>2</sub>/MWh)

$SFC(E)_{PJ,y,i}$  : (y 年 i 月における)プロジェクト実施後の単位クリンカ製造量当たりの電力消費原単位(MWh/t-cement)

$TL_{Tr, y,i}$  : (y 年 i 月における)もみがらの輸送トラックの平均積載量(t-hulls /truck)

$AVD_{Hulls, y,i}$  : (y 年 i 月における)もみがら排出施設からクリンカ製造プラントまでの片道距離等、プロジェクト活動によって追加的に発生したトラックの平均輸送距離(km /truck) (20 km/トラック...デフォルト値)

$EF_{tr, CO_2}$  :トラックの CO<sub>2</sub> 排出係数(tCO<sub>2</sub>/km)

非常にシンプルな算定式であり、パラメータの殆どは妥当な設定根拠に基づいたデフォルト値として事前設定されることから、PP に大きな負担を強いることなくリファレンス及びプロジェクト排出量の算定が可能である。

プロジェクト排出量の計算結果は以下の通りである。

化石燃料消費により発生する CO <sub>2</sub>	49,640t-CO <sub>2</sub> /year
(「もみがら」使用による CO <sub>2</sub> 発生削減量は 21,449t-CO <sub>2</sub> /year)	
電力消費により発生する CO <sub>2</sub>	19,527t-CO <sub>2</sub> /year
(「もみがら」供給設備の消費電力分だけ増加する。)	

「もみがら」輸送によって発生する CO2	106t-CO2/year	輸送距離 20km,片道
合計 CO2 排出量	69,273t-CO2/year	

### ⑤ 排出削減量の算定

プロジェクト実施による排出削減量は次の通り算定する。

$$ERy = REy - PEy \dots\dots\dots \text{数式 14}$$

ここに、

- ERy : CO2 の年間総排出削減量 (t-CO2/ y)
- REy : リファレンスの年間排出量 (t-CO2/ y)
- PEy : プロジェクト活動に伴う年間排出量 (t-CO2/ y)

リファレンス及びプロジェクトの CO2 排出量の算定はセメント原単位評価を基本としている。CDM においては、原単位手法は推奨されないかもしれない。

しかし、我々の提案は CDM ではなく JCM での提案である。

対策メニュー毎に削減量を算定するのは、むしろ PDCA の観点からである。

このオリジナルのユニットテクニックの利点はプロジェクトのオペレーションの改良の効果が反映されるということである。

リファレンスとプロジェクトの CO2 排出の計算は単純な方法を採用した。しかし、合理的で保守的な計算テクニックが確保されている。従って、年間の CO2 排出削減量は完全に保守的な値である。

提案した JCM 方法論は、もみगरらに限定されるものではなく、一定の配慮を前提に、バイオマス残渣等の活用による化石燃料代替に応用可能である。

排出削減量計算結果は以下の通りである。

リファレンス排出量推計値－プロジェクト排出量推計値＝排出削減量

$$90,554 - 69,273 = 21,281 \text{ t-CO2/year}$$

### (3) プロジェクト実施前の設定値

事前に確定した各データ及びパラメータは保守的な計算結果を導出するものであり、データの説明と出典は下表のリストのとおりである。なお、各パラメータの事前設定の内容及び保守性の確保並びに設定根拠等についてはそれぞれ後述した。

パラメータ	データの説明	出典
鉄鉱石投入率 : $M(\text{Iron})_{\text{rate}}$	鉄鉱石投入率はLao Cement社によって決められている。	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社
石膏混合率 : $M(\text{Gyp})_{\text{rate}}$	石膏混合率はLao Cement社によって決められている。	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社
クリンカの石炭原単位 : $\text{SFC}(\text{C})_{\text{RE},y,i}$	過去のクリンカ製造量と石炭消費量から求められている。 (t-coal/t-clinker)	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社の記録データ
石炭のCO <sub>2</sub> 排出係数 : $\text{EF}_{\text{coal},\text{CO}_2,y}$	石炭の種類(無煙炭、瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭等)毎に定められているIEAのデフォルト値 元素分析データ (t-CO <sub>2</sub> /Gcal)	✓ IEA CO <sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion Documentation for Beyond 2020 ✓ Lao Cement社の記録データ
クリンカの電力原単位 : $\text{SFC}(\text{E})_{\text{RE},y,i}$	過去のクリンカ製造量と電力消費量から求められている。(MWh/t-clinker)	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社の記録データ
グリッド電力のCO <sub>2</sub> 排出係数 $\text{EF}_{\text{elec},\text{CO}_2}$	ラオス国公表のグリッド電力排出係数は次のとおりである。 0.5764 t-CO <sub>2</sub> /MWh	デフォルト値として設定 ✓ ラオス国からの最新公表データを使用する。
重量計の保守係数 $f_{\text{scale},y}$	トラックスケールの保守係数である。ラオス国規格の検定合格基準の許容誤差に基づいて保守的に補正するものである。(－)	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社の記録データ
電力の保守係数 $f_{\text{elec},y}$	電力メーターの保守係数である。ラオス国規格の検定合格基準の許容誤差に基づいて保守的に補正するものである。(－)	デフォルト値として設定 ✓ Lao Cement社の記録データ
トラックCO <sub>2</sub> 排出係数 $\text{EF}_{\text{tr},\text{CO}_2}$	もみから輸送距離当たりのCO <sub>2</sub> 排出係数 (t-CO <sub>2</sub> /km)	IPCC デフォルト値
輸送距離 $\text{AVD}_{\text{Hulls},y,i}$	トラックの各精米所からのもみから輸送距離(km/truck)	デフォルト値として設定 (20 km/truck)

#### ① 鉄鉱石投入率

クリンカ製造における石灰石に対する鉄鉱石投入率はセメントの品質に直接に関係するものであり、Lao Cement社によって定められ厳密に管理されている。この比率は、BaU及びプロジェクトにあっても変わることはなく、当然リファレンスにも変化はないデフォルト値となる。

従って、クリンカ製造量が確定すれば鉄鉱石投入量等は想定でき、セメントに対する割合も当然一定となる。

#### ② 石膏混合率

石膏混合率はLao Cement社によって決められているデフォルト値である。石膏混合率は、セメントの品質に大きく関わるものであり、Lao Cement社によって定められ、厳密に管理されている。

従って、クリンカ製造量が確定すれば投入される石膏の量も確定し、セメント製造量等は想定できることになる。

## ③ クリンカの石炭原単位

クリンカの石炭原単位として 3505.65MJ/t-clinker(0.1913t-coal/ t-clinker)を設定した。

クリンカの石炭原単位は、過去のクリンカ製造量と石炭消費量、石炭の低位発熱量から求められる。

設定するデフォルト値は、過去3年間の年間石炭原単位の最低値を採用することによって保守性を確保することとした。現地の Lao Cement 工場では、石灰石の投入量、石炭燃焼量や電力消費量、クリンカ製造量と言った基礎パラメータを計測、データを長期間に亘って蓄積している。セメントのビエンチャンへのトラック輸送に伴う軽油消費量なども把握されている。

現地調査時に工場の計測管理部門から入手した過去3年間のデータを基に下表に取りまとめ、クリンカの保守的な石炭原単位のデフォルト値設定の根拠資料とした。

リファレンスシナリオにおけるクリンカの石炭原単位のデフォルト値として、過去3年間のデータから最小値である 3505.65MJ/t-clinker を設定し保守性を確保した。

クリンカの石炭原単位とデフォルト値の設定

(単位: t / month)

月	2011年		2012年		2013年	
	石炭	クリンカ	石炭	クリンカ	石炭	クリンカ
1	3114.26	18268.00	4148.46	21877.78	3716.75	17788.82
2	3408.81	19189.40	3984.14	19620.00	4630.82	21322.73
3	1557.92	8839.07	1521.94	7042.86	4018.08	18553.85
4	3612.96	21648.28	3413.38	17413.19	3726.80	18851.95
5	3723.30	20905.30	4125.47	19784.21	857.67	4348.34
6	3713.32	19819.11	4320.26	21674.34	3237.96	14828.29
7	4124.22	20701.92	3725.70	17881.41	2265.12	11177.92
8	3410.06	16391.61	4504.86	21172.78	2628.23	12611.49
9	3903.74	18546.43	4479.70	22451.28	3703.48	17697.39
10	3427.32	14932.74	3263.31	16698.66	2678.94	13029.25
11	3731.73	18476.92	4518.80	22746.41	3634.62	18653.06
12	3479.22	17633.96	4525.35	21924.34	2059.20	11520.14
合計	41206.86	215352.74	46531.37	230287.26	37157.67	180383.23
低位発熱量 (MJ/t)	18321	—	17952	—	19790	—
石炭原単位 (MJ/t-clinker)	3505.65		3627.34		4076.60	
	デフォルト値 : 3505.65					

## ④ 石炭の CO2 排出係数

石炭の CO2 排出係数として IPCC のデフォルト値 0.0961tCO<sub>2</sub>/GJ を採用し、保守性を確保した。設定根拠等について、具体的に下記に示す。

現時点において、石炭の種類(無煙炭、瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭等)毎に定められている IPCC のデフォルト値の採用を基本とした。なお、プロジェクトの段階において、Lao Cement のラボにて行われている元素分析データについても、保守性確保を前提として採用の可能性を保持する。

IPCC の石炭の分類から瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭を抜粋し下記に示す。

**Coking coal**

Coking coal refers to bituminous coal with a quality that allows the production of a coke suitable to support a blast furnace charge. Its gross calorific value is greater than 23865 kJ/kg (5700 kcal/kg) on an ash-free but moist basis.

**Sub-Bituminous Coal**

Non-agglomerating coals with a gross calorific value between 17435 kJ/kg (4165 kcal/kg) and

23865 kJ/kg (5700 kcal/kg) containing more than 31 percent volatile matter on a dry mineral matter free basis.

### Lignite

Lignite/brown coal is a non-agglomerating coal with a gross calorific value of less than 17435 kJ/kg (4165 kcal/kg), and greater than 31 percent volatile matter on a dry mineral matter free basis.

なお、IEA エネルギーバランス表のエネルギー源によると、無煙炭(Anthracites)は標準的眞発熱量 26.7MJ/kg (水分・灰分を含んだ状態(有水有灰))、炭素排出係数 26.8gC/MJ (眞発熱量) とされ、有水無灰での揮発分が 10 %以下で固定炭素分が 90 %程度を占める炭化度の進んだ石炭とされている。

参考として日本の JIS に基づく石炭分類を下表に示す。

なお、発熱量標記の留意点として、IPCC の石炭の分類では無灰ベースであるのに対して JIS では補正無水無灰ベースであることが挙げられる。

表1 日本の石炭分類(JIS M 1002-1978)

分類		発熱量 (補正無水無灰ベース) kJ/kg(kcal/kg)		燃料比	粘結性
炭質	区分				
無煙炭 (A)	A1	-		4.0 以上	非粘結
	A2				
亜煙炭 (B・C)	B1	35160 以上 (8400 以上) 35160 以下 (8100 以上 8400 以下)		1.5 以上	強粘結
	B2			1.5 未満	
	C			-	粘結
亜亜煙炭 (D・E)	D	32650 以上 33910 以下 (7800 以上 8100 以下)		-	弱粘結
	E			30560 以上 32650 以下 (7300 以上 7800 以下)	
褐炭 (F)	F1	29470 以上 30560 以下 (6800 以上 7300 以下)		-	非粘結
	F2			24280 以上 29470 以下 (5800 以上 6800 以下)	

一方、Lao Cement 工場の計測管理部門から入手したデータによると、石炭分析結果の年平均値として次のように記載されている。

### 石炭分析結果の年平均値

年	水分	灰分	揮発性物質	固定炭素	眞発熱量		硫黄分
					kJ/kg	kcal/kg	
2011	1.55	40.23	10.15	47.82	18321	4350	1.68
2012	1.23	42.26	9.1	48.07	17952	4291	1.62
2013	1.21	37.06	6.85	55.78	19790	4736	1.86
2014	1.61	38.34	6.71	53.47	19155	4577	1.90

備考:2014 年データは、1 月～8 月までの平均値である。

受入ベースの水分量は、炭種によっても相違するが、通常 20～30%前後と想定され、この水分割合からすると、分析結果は受入ベースではなく Air Dried Basis によるものと考えられる。また、灰分と固定炭素の割合が非常に高く、揮発分の低いのが特徴と言える。硫黄分も若干高めのようなものである。

ラボ分析データから、2011 年～2013 年の平均の眞発熱量は 18688 kJ/kg (18.69GJ/t-coal)、固定炭素は 50.56%である。

この揮発分が少なく固定炭素の多い特徴的な石炭の分析結果から、グロスの発熱量は 20000～21000 kJ/kg 程度と判断され、眞発熱量から想定しても亜煙炭(Sub-Bituminous Coal)に分類されると判断できる。

石炭中の固定炭素は、ロータリーキルンの中ではほぼ完全に燃焼しているものと考えられることから、酸化



カーボン分率=0.98 を採用し、想定される石炭の CO<sub>2</sub> 排出係数は近似値として次式によって算出される。

$$\text{石炭 CO}_2 \text{ 排出係数} = \frac{1 \text{ t-coal} \times 0.5056 \times 44/12}{18.69\text{GJ/t-coal}} \times 0.98 = 0.0972 \text{ t-CO}_2/\text{GJ}$$

一方、IPCC の石炭分類における CO<sub>2</sub> 排出係数のデフォルト値について検討する。

LAO CEMENT 工場で使用されている石炭は、その発熱量から亜瀝青炭に分類され、IPCC のデフォルト値として、亜瀝青炭の“0.0961tCO<sub>2</sub>/GJ”が適用できる。

ラボ分析結果からの石炭の CO<sub>2</sub> 排出係数 0.0972 t-CO<sub>2</sub>/GJ に対して、IPCC のデフォルト値 0.0961tCO<sub>2</sub>/GJ の採用は保守的であることが分かる。

#### ⑤ クリンカの電力原単位(MWh/t-clinker)

クリンカの電力原単位は、過去のクリンカ製造量と電力消費量から求められる。Lao Cement 社の過去 3 年間の記録データを取りまとめ、保守的な計算結果が導出できるようデフォルト値として事前設定した。

なお、クリンカの電力原単位のデフォルト値は、プロジェクトにおいて追加的に消費する電力に適用するものであり、リファレンスとしての事前設定値とは相違することに留意が必要である。

消費電力量とクリンカ製造量の推移

月	2011 年		2012 年		2013 年	
	電力 (MWh)	クリンカ (t)	電力 (MWh)	クリンカ (t)	電力 (MWh)	クリンカ (t)
1	2785.35	18268.00	3057.89	21877.78	2731.39	17788.82
2	2979.09	19189.40	3007.40	19620.00	3049.29	21322.73
3	1896.18	8839.07	1933.17	7042.86	2906.17	18553.85
4	3140.98	21648.28	2380.82	17413.19	3080.16	18851.95
5	3247.04	20905.30	2982.67	19784.21	1353.78	4348.34
6	3057.29	19819.11	3196.00	21674.34	2599.28	14828.29
7	3129.96	20701.92	2902.99	17881.41	1827.96	11177.92
8	2575.20	16391.61	3051.56	21172.78	2378.73	12611.49
9	2859.59	18546.43	3128.00	22451.28	2908.69	17697.39
10	2617.61	14932.74	2609.76	16698.66	2259.26	13029.25
11	2744.32	18476.92	3205.70	22746.41	2951.35	18653.06
12	2737.05	17633.96	2932.50	21924.34	1962.36	11520.14
合計	33769.66	215352.74	34388.46	230287.26	30008.42	180383.23
石炭原単位	0.157 MWh/t-clinker		0.149 MWh/t-clinker		0.166 MWh/t-clinker	

備考:2013 年 5 月のクリンカ製造量は少なく特異なデータと判断される。

従って、過去 3 年間のデータから、通常ではプロジェクト後のリファレンスシナリオにおけるクリンカの電力原単位のデフォルト値として 0.149MWh/t-clinker を設定し保守性を確保することになる。しかし、本プロジェクトは節電を目的としたものではなく、プロジェクトによってもみから導入システム等のための電力を追加的に消費するものである。従って、本プロジェクトではデフォルト値として 0.1664MWh/t-clinker を設定し、保守性を確保する。

設定したデフォルト値の妥当性を評価するため、3 年間の収集データを基に、全 36 データでの評価と 2013 年 5 月のデータを除外した場合について 95%信頼区間の分析をおこなった(下表)。また、クリンカの電力原単位の推移についても確認した(下図)。

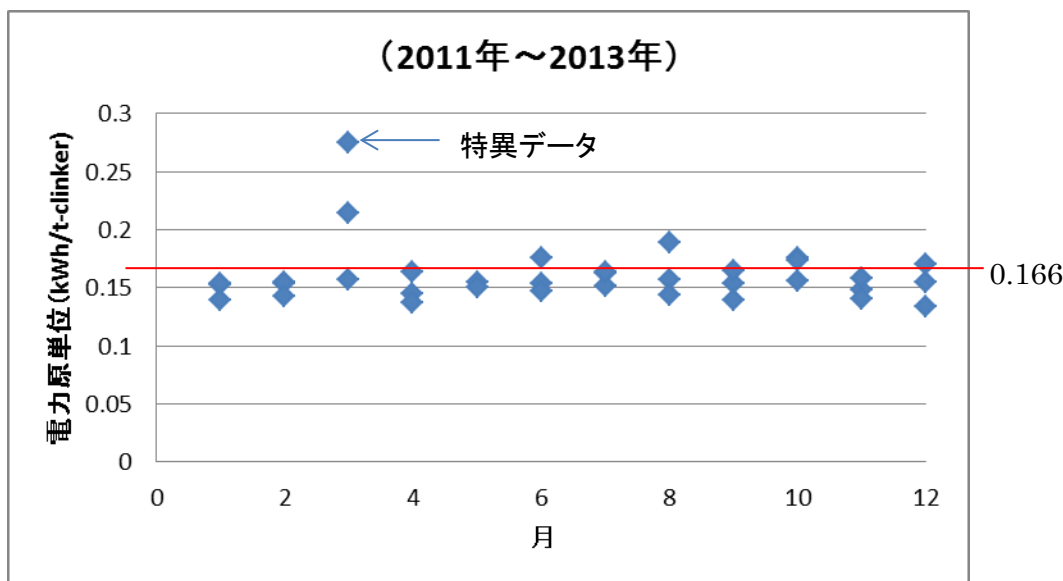
95%信頼区間の分析において、3 年間のデータ中 2013 年 5 月のデータ除外は、クリンカ製造量が通常の

1/3～1/4 程度の特異データであり、電力原単位も 0.311 MWh/t-clinker と過大なデータが含まれていたことから、標準偏差や信頼区間に影響を与えていると判断したものである。

3年間の測定データからの95%信頼区間の分析

(単位:MWh/t-clinker)

項目	全データ	2013年5月除外
標準偏差	0.0349	0.0249
標本の大きさ	36	35
95%信頼区間	0.0118	0.0085
上限値	0.1758	0.1685
下限値	0.1530	0.1520
平均値	0.1644	0.1602



2013年5月の1ケースを除外した場合の95%信頼区間の上限値0.168 MWh/t-clinkerについて、クリンカの電力原単位のデフォルト値として設定した0.166 MWh/t-clinker とほぼ同等であり、保守性は十分に確保されていると判断できる。

#### ⑥ グリッド電力のCO<sub>2</sub>排出係数

ラオス国政府から公表されているグリッド電力排出係数0.5764 t-CO<sub>2</sub>/MWhを採用した。このグリッド電力排出係数は、タイとラオスのグリッドを合わせた数値であるが、ラオス国としてのBM及びOMを厳格に算出することは多大な労力を要するものであり、また、年度によっても変化するものと考えられる。

下図に示す通り、ラオス国の電力の殆どは再生可能エネルギーである水力発電であるが、グリッド電力は近隣諸国に連結されており、タイを主体に輸出を行っているものの、諸状況によってタイからの輸入も行われている。

プロジェクトにおいてもみがらの安定供給に電力を使用するが、水力発電主体のラオス国において、排出係数0.5764 t-CO<sub>2</sub>/MWhをデフォルト値としての採用はJCMの観点から妥当と言うよりも、むしろ極めて保守的な値であると言える。

- 電力の99.8%は水力発電
- 水力発電施設を11施設有し、それらの能力は1MWから1080MWまで様々である。
- 全設置済みの合計能力は1,750MW (2010)
- 利用可能な水力発電の合計は23,000MWから26,500MW (メコン河沿い)
- 発電電力のおよそ80-90%は主にタイに輸出している。
  - ラオスにとっては主要な収入源



ent in the

Source: NAST Photo: NTPC

Technical Cooperation for Sustainable Environmental Development in the Asia-Pacific Region  
30 September, Fukuoka, Japan

UN HABITAT  
FOR A BETTER URBAN FUTURE


#### ⑦ 重量計の保守係数

トラックスケールの保守係数である。ラオス国規格の検定合格基準の許容誤差に基づいて保守的に補正するものである。最近の過去1年間のデータから算定できる。

次ページにトラックスケールの検定合格書を一例として添付した。

重量計の検定は毎年行われており、検定合格基準の許容誤差の範囲内であれば検定合格書が発布されるが、許容基準を超過した場合には校正が行われない限り計量証明のために使用することはできないことになる。

今、30tトラックの場合、保守係数は0.993又は1.007のいずれかが適用され、排出削減量の保守性を確保することになる。




ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ  
ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນາຖາວອນ

ກະຊວງວິທະຍາສາດ ແລະ ເຕັກໂນໂລຊີ  
ກົມມາດຕະຖານ ແລະ ວັດແທກ

ເລກທີ 00105/ກວຕ.ກມວ  
ນະຄອນຫຼວງວຽງຈັນ, ວັນທີ 23 JUL 2013

**ໃບຢັ້ງຢືນການກວດທຽບຄືນ**  
(Verification Certificate)

ຊື່ລູກຄ້າ :	ບໍລິສັດ ຊີເມັງລາວ ຈຳກັດ.
(Client Name):	(LAO CEMENT CO., LTD).
ທີ່ຢູ່ລູກຄ້າ (Client Address):	ບ້ານ ຫີນຂັນໝາກ, ເມືອງ ວຽງຈັນ, ແຂວງ ວຽງຈັນ.
ເຄື່ອງມືວັດແທກ (Instrument):	Truck Scale, Class III.
ເລກໝາຍປະຈຳເຄື່ອງ (Serial Number):	GBT 7724-2008.
ຄວາມສາມາດຊັງໄດ້ (Capacity):	Max = 50 T, e= 20 kg.
ມາດຕະຖານອ້າງອີງ (Reference Standards):	A set of National Standard Weights Class M1.
ວິທີການກວດທຽບ (Calibration Method):	Weighing Performance Test.
ຜົນການກວດທຽບ (Calibration Results):	No: 024 / DSM.MC. Date: 23 / 07 / 2013.



ທ່ານ ທິວໜ້າ ກິມ  
(Director General)  
ບຸນປອນ ບິດແທກ

ກະຊວງວິທະຍາສາດ ແລະ ເຕັກໂນໂລຊີ, ກົມມາດຕະຖານ ແລະ ວັດແທກ, ບ້ານດ່ານຊ້າງ, ເມືອງໄຊທານີ, ນະຄອນຫຼວງວຽງຈັນ ໂທ: 021 732372, ແຟັກ: 201732331, MC

⑧ 電力の保守係数

電力メーターの保守係数である。

ラオス国規格の検定合格基準の許容誤差に基づいて保守的に補正するものである。最近の過去1年間のデータから算定できる。

電力計の標準化と方法論のためのラオス人民民主共和国政府機関の許容基準のための標準の下限値の係数を電力の保守係数として採用し、電力計測値の許容誤差を補正することによって保守性を確保する。つまり、公式の許容誤差について考慮するものである。

保守係数として、公式の許容誤差 0.98~1.02 にあって、電力量の削減に寄与する場合は 0.98 を採用し、プロジェクト排出量の算定にあつては 1.02 を採用するものである。

⑨ トラック CO<sub>2</sub> 排出係数

もみがら輸送距離当たりのトラックの CO<sub>2</sub> 排出係数(t-CO<sub>2</sub>/km)。

2006 年 IPCC ガイドラインのトラックに適用されるナショナル GHG インベントリーのためのデフォルト値 0.0011( tCO<sub>2</sub>/km) を採用する。

又は、LAO CEMENT Co., Ltd によるトラックの走行距離と軽油消費量から保守的に算定してデフォルト値を設定することを妨げない。

なお、現時点では、2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値 0.0011( tCO<sub>2</sub>/km) を採用する。

## ⑩ 輸送距離

トラックの各精米所からのもみがら輸送距離(km/truck)である。

デフォルト値として 20 km/truck を設定する。

米はラオス国における主要農産物であり、首都ビエンチャン郊外から Van Vieng に至る幹線道路沿いに精米所が点在する。

精米所から Lao Cement の工場までのもみがらの輸送は、工場からビエンチャンへのトラックによるセメント輸送の帰路に収集・輸送を計画するものであり、もみがら輸送に特化したトラックの使用は想定されない。従って、プロジェクトにおけるもみがら輸送のための追加的な輸送距離は基本的に発生しない。しかし、トラックの空荷物ともみがら積載では燃費が相違するとの指摘も想定される。

トラック輸送距離のデフォルト値として 20 km/truck を設定し、第三者等からの指摘に配慮することによって JCM における保守性を確保する。

## 7. 添付資料

- |  |      |
|--|------|
| (1) 方法論(案)和文要約                           | ④に添付 |
| (2) JCM Proposed Methodology             | ④に添付 |
| (3) JCM Proposed Methodology Spreadsheet | ④に添付 |
| (4) 収集データ(その他)                           | ⑥に添付 |