

二国間クレジット制度(JCM)実現可能性調査 最終報告書(概要版)	
調査案件名	板ガラス製造工場における廃熱回収・発電事業
調査実施団体	三菱 UFJ モルガン・スタンレー証券株式会社
ホスト国	インドネシア

### 1. 調査実施体制:

国	調査実施に関与した団体名	受託者との関係	実施内容
ホスト国	PT. Takasago Thermal Engineering (Takasago)	外注先	技術に関する調査、コスト試算、事業実施スケジュールの作成
ホスト国	現地コンサルタント	外注先	現地コーディネート、情報収集、インドネシア JCM 事務局との連携
ホスト国	PT.Asahimas Flat Glass Tbk (AMG)	協力企業	事業実施サイトの情報提供、エネルギー利用に関する情報提供、資金計画及び事業実施体制・スケジュールに関する協議参加
日本	月島環境エンジニアリング株式会社	協力企業	機器情報の提供、技術に関する調査支援

### 2. プロジェクトの概要:

調査対象プロジェクトの概要			
プロジェクトの概要	当該プロジェクトは、板ガラス製造工場に廃熱回収・発電システムを導入し、段階的に値上げされる電力料金に対応すべく、エネルギーを有効活用するプロジェクトである。廃熱発電の導入により、現在グリッドから購入している電力の代替が可能となり、グリッドに接続する化石燃料ベースの発電所から排出されている GHG の削減に寄与する。		
予定代表事業者	旭硝子株式会社		
プロジェクト実施主体	PT.Asahimas Flat Glass Tbk		
初期投資額	480,000 (千円)	着工開始予定	n/a
年間維持管理費	1,500 (千円)	工期(リードタイム)	約7ヵ月
投資意志	有り	稼働開始予定	n/a
資金調達方法	初期投資費用は、Asahimas 社の自己資金を活用する。うち、50%までは環境省による JCM プロジェクト設備補助事業の適用を検討する。		
GHG 削減量	グリッドから所内に供給されている電力の代替 4,900 (tCO <sub>2</sub> /年)		

### 3. 調査の内容及び結果

#### (1) プロジェクト実現に向けた調査

##### ① プロジェクト計画

##### (a) プロジェクト運用計画

当該プロジェクトは、板ガラス製造工場に廃熱回収・発電システムを導入し、段階的に値上げされる電力料金に対応すべく、エネルギーを有効活用するプロジェクトである。廃熱発電の導入により、現在グリッドから購入している電力の代替が可能となり、グリッドに接続する化石燃料ベースの発電所から排出されているGHGの削減に寄与する。当該プロジェクトで導入を検討する技術は、AMGの板ガラス製造過程から排出される300～500℃の排熱を用いたオーガニックランキン方式(ORC)によるバイナリ発電である。ORC従来型の汽力タービンと比較して、高効率で対象となる300～500℃の中低温の排ガスを効率よく回収することが可能である。加えて、汽力タービンで必要となる大がかりで高コストなボイラーが不要であり、比較的簡略かつ安価な設備での構築が可能となるメリットがある。

プロジェクト技術の概要を以下に示す。

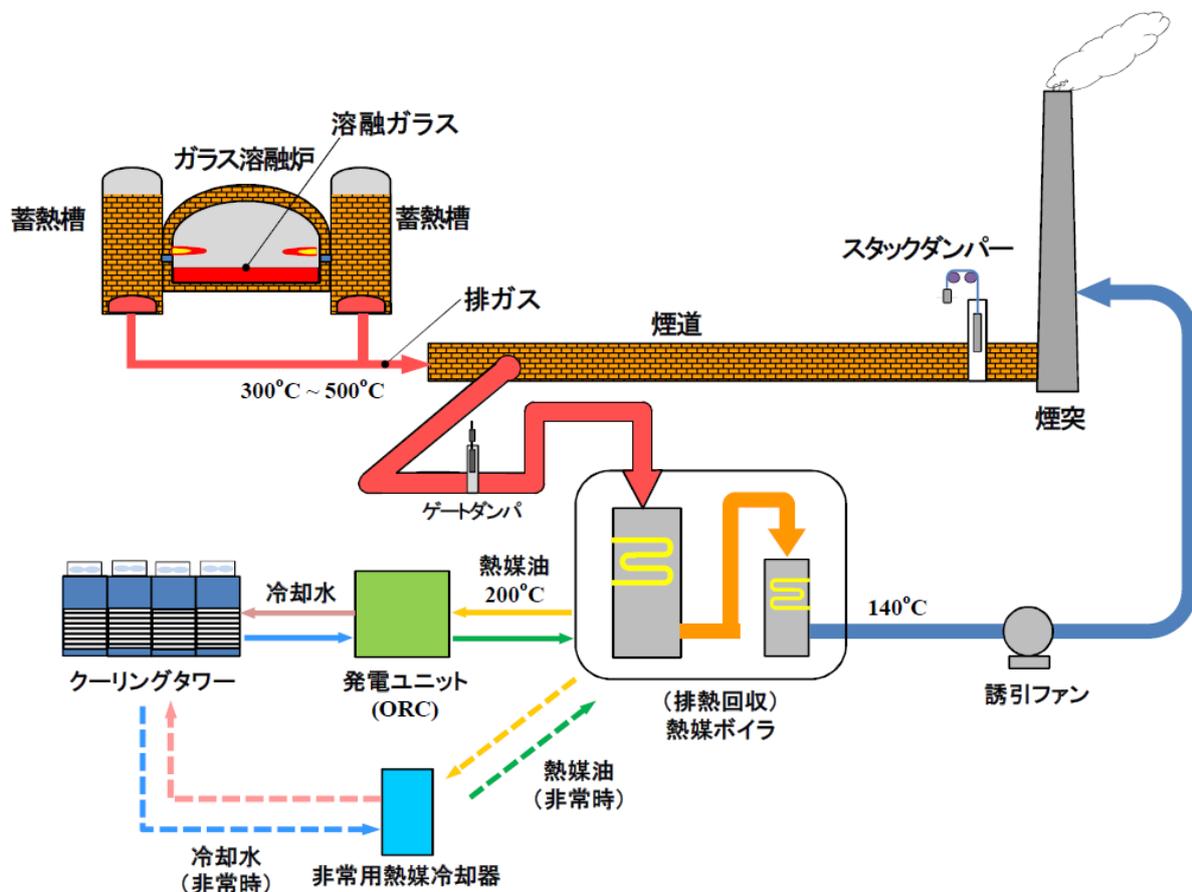


図 1 廃熱発電設備 概念図

出典：調査団作成

事業運用体制については、AMG が主体となった体制を予定している。維持管理については、定期メンテナンスはメーカーに依頼し、日常のメンテナンス及び管理業務は、メーカー及び本調査において技術の検討を実施した総合エンジニアリング会社の Takasago との協業のもと、AMG が実施する想定である。また、本調査において日系メーカーの機器を中心に適用可能性を検討し、有効性を確認した。JCM の活用に関するコンサルティングは MUMSS が提供する。

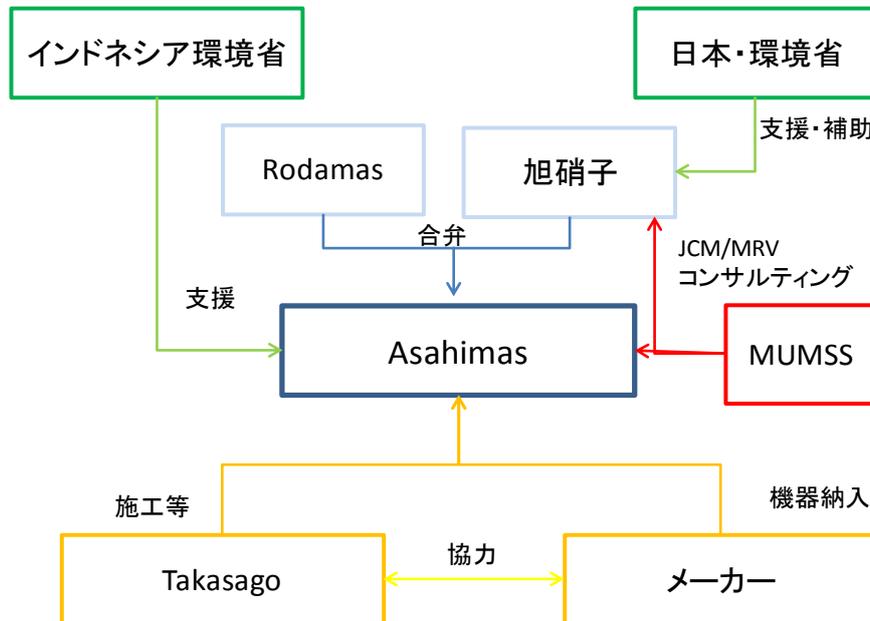


図 2 プロジェクト運用体制

JCM 設備補助金申請の際は、旭硝子が代表申請者となり、AMG と国際コンソーシアムを組んだ上で、コンソーシアム外のメーカー等から機器や施工サービスを調達する方向で検討している。補助金以外の初期投資額については AMG が自己投資する予定である。

### (b) 工事計画

工事計画をたてるにあたり、以下の項目を調査した。

表 1 工事計画に関する調査

調査項目	調査結果
工場内の設備設置場所の設定	AMG シドアルジョ工場に決定
当該設置場所の地質調査(荷重耐力)、地盤改良の必要性の有無確認	問題なし。地番改良の必要なし
既存のガラス製造設備の改造箇所の調査	改造の必要なし
工事資材の現地調達及び現地設置工事事業者に関する調査	現地調達可能な項目を確認
現地工事に関する現地特有の制約条件等施工上の障害の有無の調査	雨期やイスラム教の祝日等による制約を確認

上記の調査結果を踏まえ、工事計画を策定し、機器発注から商業運転開始までの所要期間は最短で 18 ヶ月であることが明らかになった。

#### (c)プロジェクト実施主体の経営体制・実績

AMG は日本の旭硝子株式会社が 43%、インドネシア地場企業 Rodamas が 40.8%、その他を個人投資家等が株を所有している。代表取締役社長には旭硝子出身者が勤めている。2013 年の業績は、堅調なインドネシア経済に牽引され、売上高は年初目標を 7% 上回る前年比 13% 増の 3 兆 2,165 億ルピアと過去最高を記録した。売上原価や販売費用の増加により営業利益は微減しているものの、好調な営業成績に支えられ、AMG の資産および資本は増加傾向にある。2013 年末時点の総資産は 1.98 兆ルピアであり、総負債の約 4.2 倍である。これらの成績から、投資資金は潤沢であることが明らかである。また、AMG は、「環境」を経営の重要課題のひとつと位置付け、自社の工場における生産のグリーン化等を目標に掲げ、工場の環境認証等も取得している。

#### (d)事業収益性の評価

下記の前提条件を基に、当該プロジェクトのIRRと投資回収年数を検討した。また、いくつかの条件を設定し感度分析を実施した。

表 2 事業収益性評価の前提条件

項目		金額	単位	ソース	備考	
コスト	初期投資費用	設計・機材購入費	350,000	千円	PT. Takasago	-
		現地調達機材	50,000			
		工事・試運転調整費	80,000	千円		
		計	480,000	千円		
	1/2 補助適用後	240,000	千円			
	維持管理費	消耗品、交換部品購入費	800	千円/年		
		メンテナンス工賃	700	千円/年		
計		1,500	千円/年			
減価償却		24,000	千円/年		耐用年数@20年	
収入	グリッド電力代替量	6,400	MWh/年	メーカー推定	-	
	電力料金	10,704	円/MWh	PLN	1115 IDR/kWh x 0.0096 円/IDR (2015年1月4日レート)	
	グリッド電力代替収入	68,506	千円/年	-	-	

上記の前提条件を踏まえて IRR および投資回収年数を計算した結果、また、前提条件が異なる様々なケースを想定し、感度分析を実施した結果を次に示す。

プロジェクト機器による発電量が、廃熱温度の経年上昇とともに上がることが確実な当該プロジェクトにとって、十分に投資に値する数値である。

表 3 感度分析結果

ケース		IRR	投資回収年数
ケース1	ベースケース	21.76%	3.5
ケース2	電力料金8%上昇	23.55%	3.2
ケース3	グリッド電力代替量 10%増加	24.00%	3.2
ケース4	ケース 2&ケース 3	25.95%	2.9

### (e)初期投資・維持管理および MRV に関する資金計画

初期投資額および維持管理費は表 2 に示すとおりである。MRV に関する費用は、第三者機関とコンサルタント合わせてバリデーションおよび検証それぞれにつき 1000 万円以上かかると想定される。JCM 関連補助金からの支援等が期待される。

初期投資額の 1/2 については JCM 設備補助による支援を期待している。JCM 設備補助適用外の部分、維持管理費および MRV 費用のうち日本政府による支援が提供されないものについては、全て AMG が自己資金により負担する。

### (f)リスク分析

次のリスクが想定されるが、対応策を既に検討しており、事業への影響を最低限に抑える準備ができていることから、JCM 事業の実現可能性に大きな影響はないと考える。

- 安定した年間発電量の確保について

工場での停電や冷却水の供給の停止等の発生が懸念されるが、機器の運転に支障が出ないよう、適切な装置やバックアップ等を整備し、リスクを最小限に抑える。

- 現地工事について

工場内の他の設備との取り合いにより、コスト上昇が懸念されるが、予め工事範囲を明確にして事前検討を行い、影響を最低限に抑える。また、工場内の独自の規制による工事遅延が懸念されるが、安全対策等の工場独自の規制を予め調査し、影響を最小限に抑える。

- 補助金について

JCM 補助金が獲得できない場合の資金スキームの変更リスクがある。事前に入念な調査および日本政府関係機関との協議を実施し、影響を最小限に抑える。

### (g)その他事業性に関わる項目

インドネシア国内の排出量にかかわる市場メカニズム、Nusantara Carbon Scheme (NCS) の創設に向けた動向について調査した結果、同スキームは、当該プロジェクトから創出されるクレジットで、日本政府の移転される分以外の用途になる可能性があることが明らかになった。インドネシア国内でクレジットの需要がある場合、当該プロジェクトの意義は増し、事業全体の価値の向上に貢献するであろう。

### ②プロジェクト許認可取得

EIA はインドネシア環境省省令 No.11, 2006 において発電容量が 100MW 以下の設備は EIA の実施が求められないため、本件では不要である。事業の許認可については、PLN への売電は実施しないため、不要である旨を、インドネシア投資庁 (BKPM) に問い合わせ、確認を得ている。

### ③日本技術の優位性

当該プロジェクトで導入を検討する技術は、AMG の板ガラス製造過程から排出される 300~500℃の排熱を用いたオーガニックランキン方式 (ORC) によるバイナリ発電である。インドネシアでは、製造現場における廃熱回収・発電技術の導入は一般的ではなく、その概念も普及していない。JCM の支援がなければ、廃熱回収・発電技術は導入されず、廃熱はそのまま大気に放出され、所内電力は引き続きグリッドから購入されると考えられるため、JCM による支援がなければ導入が見込まれる製品・技術という観点における競合製品は存在しない。

しかしながら、代替技術として、当該温度域での発電が可能な汽力タービンでの導入、また他社の ORC バイナリ発電技術が想定される。汽力タービンについては、当該温度域では低温低圧の水蒸気しか作れず、その発電効率は 10%程度と、バイナリで想定している発電効率 (15%) と比べて、効率が低いことが協力機器メーカーの推算により判明している。また、汽力タービン発電に必要な排熱ボイラは、大がかりで非常に

コスト高となる上に、維持管理の手間及びコスト負担が相応に高い。バイナリであれば、熱回収部分で、蒸気製造の代わりに常圧で熱媒油を加熱する方式が採用できるため、比較的簡略かつ安価な設備での構築が可能となり、効率・維持管理の手間およびコストの面で有利であると考えられる。調査の結果、汽力タービン発電機器・工事費は同規模の ORC と比較して約 1.4 倍のコストとなることが判明している。

また、他国製の ORC と比較した場合、日本製品は、日本の厳格な技術基準に適合するよう設計・製作されており、品質・信頼性ともに高く、異常時検知システムや制御システムの導入により高い安全性を確保できる等のメリットがあり、十分な競争力を発揮できると考えられる。更に、市場で最大のシェアを持つ米国製やイタリア製と比べて、使用する作動媒体が安全または安価というメリットがある。世界中の ORC を比較した文献調査の結果、当該プロジェクトを JCM 化した場合、同規模の世界標準的な ORC より約 25% 低い価格で導入が可能であることが明らかになった。

#### ④MRV 体制

モニタリング実施体制および参加者の役割分担を次の通り計画している。

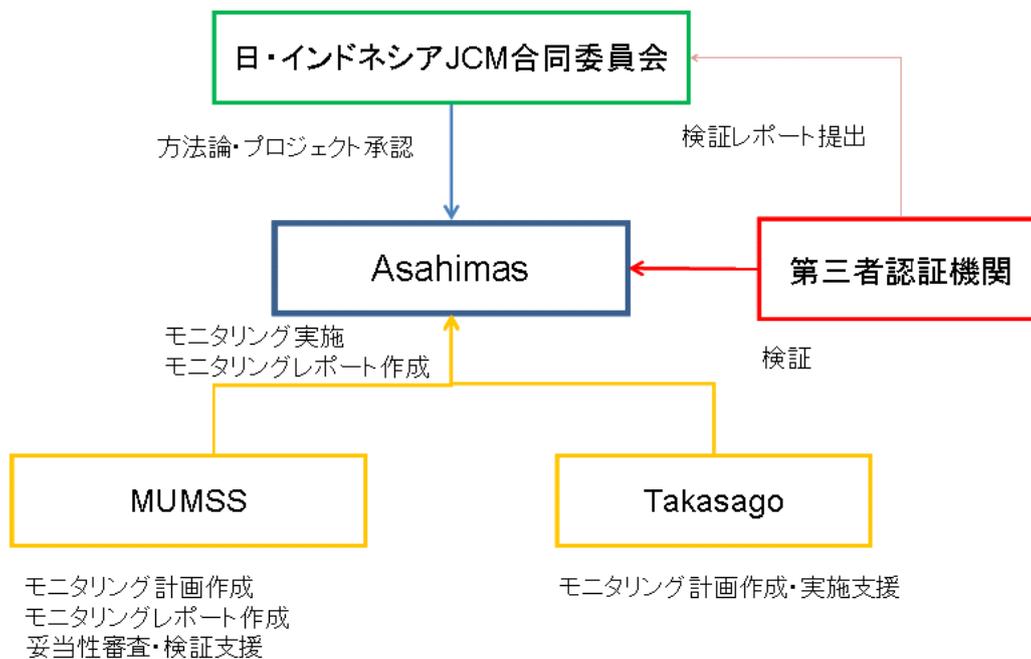


図 3 MRV 実施体制

- **AMG:** モニタリングデータの収集及び記録、モニタリングレポート作成、GHG 排出削減量の算定、第三者機関による検証の依頼を実施。
- **MUMSS:** モニタリング項目が記載されており、モニタリングデータを入力する方法論スプレッドシートを作成する。一連の MRV 過程において AMG へのコンサルティングサービスの提供により手続き面をサポートする。
- **Takasago:** モニタリング手法及びモニタリング実施における技術面のサポートを提供。

当該プロジェクトのモニタリング項目における発電量の計測機器は、電力メーターであり、バックアップ用を含めて 2 基導入予定である。機種については、国際的な規格に合ったものとし、キャリブレーション等はメ

メーカーの規定にしたがって行う予定である。連続計測結果をコンピューターシステムと連携して、自動的にデータがシステムに蓄積されていく、限りなく自動化したモニタリングシステムを構築し、現場の負担を軽減する方針である。

モニタリングの実地研修については、PDD 作成時とモニタリング開始前に最低一回ずつ、MUMSS が現地で研修を実施し、選定するモニタリング機器、必要なモニタリング項目、モニタリング頻度、データ保存の必要性、キャリブレーション証明書の準備等については、妥当性確認および検証に備える。

## 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

当該プロジェクト技術は、グリッド由来の電力使用量を削減することにより、化石燃料ベースの発電によるGHG 排出を削減し、インドネシア政府が持続可能な開発の達成において重要な施策として位置づけている気候変動の緩和に貢献する。

当該プロジェクトはインドネシア環境省省令 No.11, 2006 において環境影響評価(EIA)が免除される発電量 100MW 以下の設備であり、環境に大きな影響を与えない事業として、EIA は不要であることを確認しているが、当該プロジェクト機器の作業媒体として使用する代替フロンを大気に漏洩しない手立てをハード面にて備えることを確認している。また、機器の廃棄等で最終的に代替フロンを取り出す際には、漏洩を防ぐための装置およびノウハウを伝授し、セメント工場で破壊処理を行うことにより、環境十全性を確保する。

当該プロジェクト機器からの排ガスについては、ガラス熔融炉後に設置されている蓄熱室から排気されるガスが、当該プロジェクト機器の廃熱回収部である熱媒ヒーターを通過し、温度の降下を経てそのまま既存の煙突から排気されるものであり、当該プロジェクトにより新たに発生するガスや汚染物質はないことを機器メーカーへの調査により確認している。

## ⑥今後の予定及び課題

- 2015年3月～4月  
投資判断のための詳細設計に向けた技術調査を進めコストを確定させる。補助金申請における実施体制を確定させ、JCM 設備補助事業の申請を準備する予定。
- 2015年3月～継続的  
「リスク分析」にあげた技術的リスク項目について、影響を軽減する対応策を構築する。
- 2015年3月～継続的  
MRV 方法論の適格性要件等についてブラッシュアップを行う。
- 2015年4月  
設備補助申請予定。
- 2015年6月  
MRV 方法論のブラッシュアップ、方法論承認申請に向けた作業開始。

- 2015年8月  
設備補助交付決定。機器発注可能時期。

## (2) JCM 方法論作成に関する調査

### ① 適格性要件

承認済み JCM 方法論であるセメント産業における廃熱回収による発電事業の方法論、"ID\_AM001: Power Generation by Waste Heat Recovery in Cement Industry"を参考に、以下の適格性要件を設定した。

表 4 適格性要件

	内容	設定根拠等
要件 1	当該プロジェクトは、板ガラス製造設備から廃熱回収 (WHR) システムによって回収した摂氏 300℃～500℃の廃熱を使用して発電するものである。	技術を特定する。
要件 2	廃熱回収システムは、熱媒ボイラと発電ユニットから構成されている。	技術を特定する。
要件 3	廃熱システムは発電の熱源として化石燃料は使用せず、廃熱のみを使用する。	リファレンス排出量の算定式を適用可能とする。
要件 4	当該プロジェクトが実施される板ガラス製造工場は系統電源システムに連結しており、廃熱回収システムの最大定格容量に年間の最大時間数 (24 * 365 = 8,760 hours) を乗じることで算出される、廃熱システムによる理論上の最大出力が、系統電源システムから当該工場に供給される電力量を上回らないこと。  (1) 当該プロジェクトの妥当性確認がプロジェクト開始日前に実施される場合は、妥当性確認前の一年間当該プロジェクトの妥当性確認がプロジェクト開始日後に実施される場合は、プロジェクト開始前の一年間	リファレンス排出量の算定式を適用可能とする。
要件 5	プロジェクトで導入される廃熱回収システムは、板ガラス工場内の系統電力に係るよう設計されている。	リファレンス排出量の算定式を適用可能とする。
要件 6	廃熱回収システムで温室効果ガスを含む作業媒体が使用される場合、廃熱回収システムから温室効果ガスの漏洩を防止する構造になっている。	プロジェクト排出量がないことを確認し、環境十全性を確保する。

環境十全性の確保および他国製の技術との差別化を図るために、要件6における ORC に含まれるフロン系ガスの取り扱いにおいて、O&M 体制の構築を追加する方向で検討している。

## 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

リファレンス排出量は、プロジェクトを実施する工場に供給される系統電力を代替する、プロジェクトによる正味電力量に基づいて算定する。"ID\_AM001"を参考に、以下の算出手法を構築した。

$$RE_p = EG_p * EF_{grid}$$

パラメーター	概要	推定値
$RE_p$	当該プロジェクト実施期間 p に当該プロジェクトによる電力代替におけるリファレンス排出量 (tCO <sub>2</sub> /p)	4,900
$EG_p$	当該プロジェクト実施期間 p に当該プロジェクトで発電され、グリッド電力の消費を代替する正味電力量 (MWh/p)	6,020
$EF_{grid}$	当該プロジェクト実施期間 p に、当該プロジェクトにより代替されるグリッド電力システムの CO <sub>2</sub> 排出係数 (tCO <sub>2</sub> /MWh)	0.814

$EG_p$  は、次の通り求める。

$$EG_p = EG_{SUP,p} - EG_{AUX,p}$$

パラメーター	概要	推定値
$EG_{SUP,p}$	当該プロジェクト実施期間 p に当該プロジェクトで発電され、板ガラス製造設備に供給される総電力量 (MWh/p) (1.3MW x 8000 hrs/year)	10,400
$EG_{AUX,p}$	当該プロジェクト実施期間 p に当該プロジェクトで発電され、プロジェクト機器に内部消費される付随電力量 (MWh/p) (0.5MW x 8760 hrs/year)	4,380

プロジェクト機器の付随的電力消費量  $EG_{AUX,p}$  を最大のオペレーションを前提に設定し、プロジェクト排出量から差し引くことにより、リファレンス排出量を保守的に算出する手法を採用している。

当該方法論ではプロジェクト実施時の排出量は発生しないため、リファレンス排出量がプロジェクトの排出削減量となる。

### ③プロジェクト実施前の設定値

プロジェクト実施前の設定は以下の2項目である。

パラメータ	概要
グリッドの排出係数 ( $EF_{grid}$ )	Java-Bali グリッドに関する最新の政府公式値 (0.814tCO2)
付随的な内部電力消費量 ( $EG_{aux,p}$ )	当該プロジェクト機器による付随的な内部電力消費量の最大値である。適用技術に関する調査の結果、最大値であるデフォルト値を4,380MWhと設定する。

プロジェクト機器による内部消費量 ( $EG_{aux,p}$ ) は、"AM001"の手法を踏襲し、機器メーカーから提供のあった容量 ( $EG_{cap}$ ) に、最大のオペレーション (24h/d x 年間最大日数) を乗じた数値であり、これにより、プロジェクトの発電量 ( $EG_p$ ) が低めに算出され、リファレンス排出量を保守的に導き出している。