

インドネシア共和国  
国有電力会社 (PT. PLN (PERSERO))

## インドネシア国

# 「ジャワ島中・西部基幹送電線事業」 準備調査最終報告書

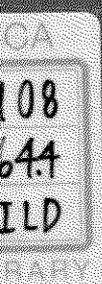
(和文要約)



平成 24 年 3 月  
(2012 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

委託先  
東電設計株式会社



インドネシア共和国  
国有電力会社 (PT. PLN (PERSERO))

## インドネシア国

# 「ジャワ島中・西部基幹送電線事業」 準備調査最終報告書

(和文要約)

平成 24 年 3 月  
(2012 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

委託先  
東電設計株式会社

産公
CR(3)
12-063



1205834 [3]

---

## 目 次

第 1 章 序 章 .....	1
1.1 調査の背景 .....	1
1.2 調査の目的 .....	1
1.3 本事業のスコープ .....	1
1.4 調査スケジュール .....	2
第 2 章 本事業の必要性と妥当性 .....	3
2.1 各地域の電力需要 .....	3
2.2 電源開発計画を踏まえた地域毎の電力需給状況 .....	4
2.3 系統解析の結果を踏まえた本事業の必要性および妥当性 .....	5
2.4 本事業の実施に関する課題 .....	6
第 3 章 環境社会配慮 .....	7
3.1 調査結果 .....	7
3.1.1 自然環境調査 .....	7
3.1.2 社会環境調査 .....	8
3.2 環境影響評価手続きの進捗状況 .....	8
3.3 社会影響 .....	9
3.4 環境カテゴリー .....	9
第 4 章 送変電設備 .....	10
4.1 送電設備の設計 .....	10
4.1.1 設計条件の決定 .....	10
4.1.2 送電設備の概要 .....	11
4.2 変電機器の設計 .....	12
4.2.1 設計基準 .....	12
4.3 資機材調達および施工計画 .....	13
4.3.1 資機材調達計画 .....	13
4.3.2 施工計画 .....	13
4.4 施工スケジュール .....	14
4.4.1 本事業の全体工程 .....	14
4.5 本事業の概算事業費 .....	15
4.5.1 総事業費 .....	15
第 5 章 本事業の評価 .....	16
5.1 本事業の効果 .....	16
5.1.1 本事業受益者の特定 .....	16
5.1.2 本事業の定性的効果 .....	17

---

5.2 費用便益分析.....	17
5.2.1 経済評価の条件.....	17
5.2.2 経済評価の結果.....	18
5.3 運用・効果指標の提案 .....	18
第 6 章 新技術の適用可能性.....	19
6.1 低弛度・増容量電線の適用 .....	19
6.2 四回線鉄塔の適用 .....	19
第 7 章 まとめ .....	22

## Abbreviations

Abbreviations	Words (Original)	Words (日本語)
ACSR	Aluminum Cable Steel Reinforced	鋼心アルミより線
BAPPEDA	Regional body for planning and development ( <i>Badan Perencanaan Pembangunan Daerah</i> )	地方経済開発局
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora	ワシントン条約
EDS	Every Day Stress	常時張力
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
HSD	High Speed Diesel	ディーゼル油
ICB	International Competitive Bidding	国際競争入札
IEC	International Electro technical Commission	国際電気標準会議
IKL	Isokeraunic Level	年間雷雨日数
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources	国際自然保護連合
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
OLR	Over Load Relay	過負荷リレー
OPGW	Optical Ground Wire	光ファイバー複合架空地線
PLN	PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero)	(国有電力会社)
P/S	Power Station	発電所
ROW	Right of Way	線下
RPL	Environmental Monitoring Plan ( <i>Rencana Pemantauan Lingkungan</i> )	環境監視計画
RTRW	Regional Spatial Plan ( <i>Rencana Tata Ruang Wilayah</i> )	州空間計画
RUPTL	Electricity Supply Business Plan ( <i>Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik</i> )	電力供給計画
USD	United States Dollar	米ドル

## 第1章 序章

### 1.1 調査の背景

1997年のアジア通貨危機以降、力強く回復したインドネシア国経済は、この10年間は年率平均5%超の高成長を遂げている。特に政治、経済の中心であるジャワバリ系統には8割の需要が集中し、電力需要も年間5%の急速な伸びを示している。

こうした旺盛な需要を満たすためにクラッシュプログラムなど国を挙げての電源開発が進められている。併せて発電した電力を需要地まで輸送する基幹送電線の整備も急務となっている。このうち、ジャワ島北部に点在する3つの大型発電所の総計6,640MWを500kV送電線1本で効率的にジャカルタ首都圏まで送電する「ジャワ島中・西部基幹送電線事業」（以下 本事業）は同国にとって重要不可欠な事業である。

### 1.2 調査の目的

本事業は、ジャワ島中部及び西部において新規基幹送電線を建設することにより、ジャワ島の電力需給逼迫の緩和及び供給の安定性を図り、もって投資環境の改善を通じたジャワ島の経済発展、民生の向上に寄与することを目的として実施される。

本調査の目的は、本調査により、本事業の目的、概算事業費、実施スケジュール、実施（調達・施工）方法、事業実施体制、運営・維持管理体制、環境及び社会面の配慮等、円借款事業として実施するための審査に必要な調査を行うことである。

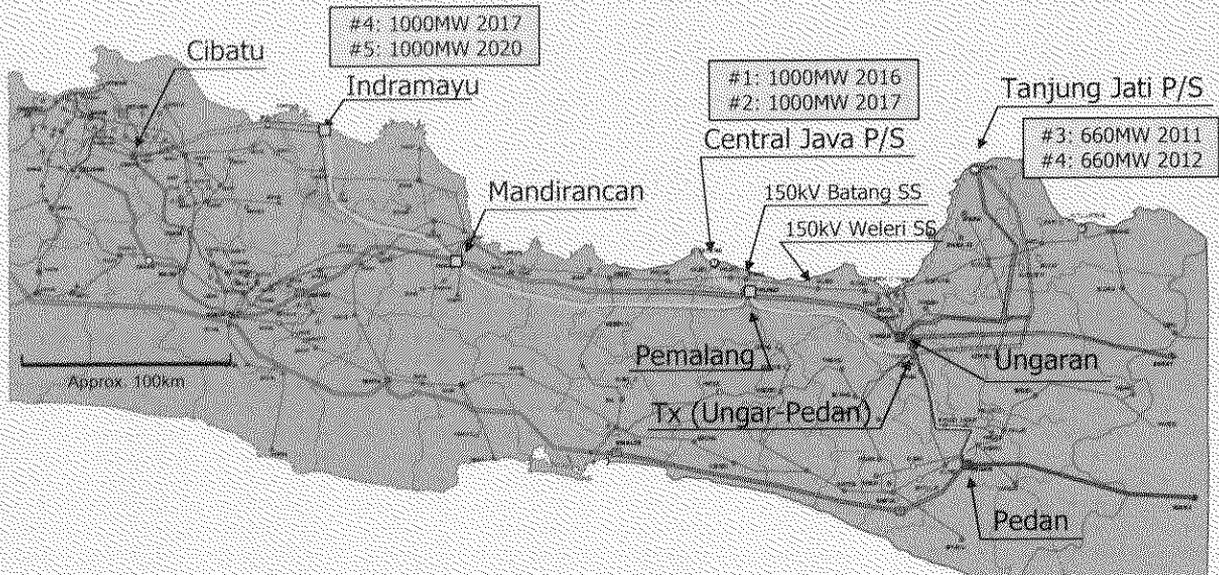
### 1.3 本事業の範囲

本事業の範囲に含まれる対象設備を表1に示す。送電線は、ジャワ島中部のUngaran Tx地点において、2012年3月現在建設中であるTanjung Jati発電所からの送電線に直接接続し、その地点からジャワ島西部のIndramayu変電所に至る全長342.6kmの500kV送電線と、途中経由するPemalang変電所から近傍の150kV系統に接続するための2kmの150kV送電線である。変電所は、途中経由するPemalang変電所（IPPが建設）、Mandirancan変電所（既設）およびIndramayu変電所（他事業にて建設）への接続を行う。

表1 本事業の対象設備

	区間	距離
送電線	500kV Tx (Ungar-Pedan) – Pemalang	86.1 km
	150kV Pemalang – Inc 2 Pi (Batang-Weleri)	2 km
	500kV Pemalang – Mandirancan	166.9 km
	500kV Mandirancan – Indramayu	89.6 km

変電所	場所	新設/増設
	Pemalang (500kV, 150kV)	新設
	Mandirancan	増設
	Indramayu	増設



発電所の運転開始時期はUpdated RUPTL (Draft 15 August, 2011)による。

図 1 本事業のスコープ

### 1.4 調査スケジュール

表 2 調査スケジュール

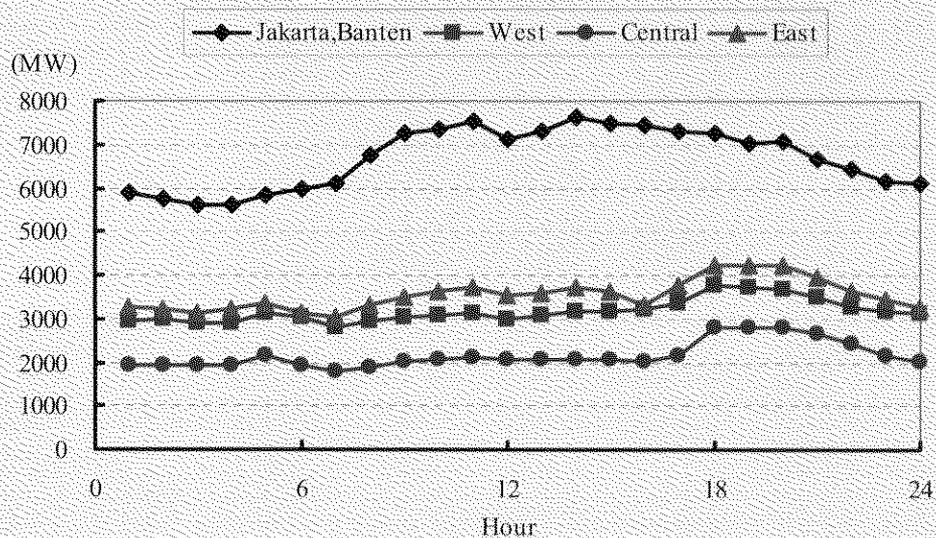
	2011年					2012年		
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
インドネシアでの調査	■	■		■	■	■	■	
日本国内での調査		■	■	■			■	■
Stage-1 基礎調査	■	■			■	■		
Stage-2 ルート選定	■	■		■				
Stage-3 最適計画の提案		■	■	■	■	■		
Stage-4 報告書の作成					■	■	■	■
Workshop	▲						▲	
報告書	◆ IcR			◆ ItR	◆		◆ Dir	◆ FR

## 第2章 本事業の必要性と妥当性

本章では、本事業の目的であるジャワバリ系統の東部から西部への電力輸送可能量増強の必要性について検証する。最初に、地域毎の電力需給状況を踏まえて、地域毎の電力過不足量から地域間の電力融通量動向を想定し、既設の500kV 2ルート送電線に対応可能かどうかを概略検討する。その後、詳細な系統解析を行い、本事業の必要性を論じるとともに、本事業の効果を発揮する際に支障となる課題を抽出し解決策を提案する。

### 2.1 各地域の電力需要

2010年において、ジャワバリ系統で最大需要を記録した10月20日における、各地区の需要形状を以下に示す。



出典：P3B 提供資料を基に調査団作成

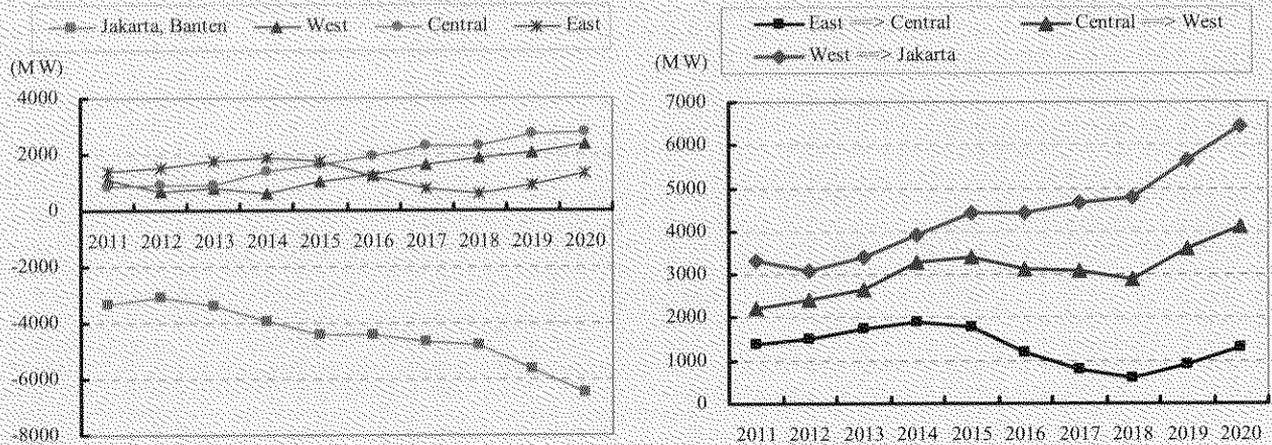
図2 各地域の時間毎需要形状

West Area, Central Area, East Area の3地域は、点灯時である18時から20時にかけて電力需要が急激に増加し、最大電力需要が発生している。一方、4地域の中で最大規模を持つ Jakarta, Banten 地域は、商業用需要が大きくなる14時ごろに最大需要が発生している。

このため、Jakarta, Banten 地域で最大需要となる14時ごろには、West Area, Central Area, East Area の3地域は大きな余力が発生し、東から西に向かう潮流が最大となる。

## 2.2 電源開発計画を踏まえた地域毎の電力需給状況

すべての発電設備の出力を需要の大きさに合わせて、一律に抑制した場合における各地域の発電量と需要の差および地域間の電力潮流を以下に示す。なお、各地域の需要は、Jakarta, Banten Area が最大需要となる時間（14時）の値を使用している。



出典：PLN、P3B 提供資料を基に調査団作成

図 3 需要と発電量の差（左図）、地域間連系線の潮流（右図）

Jakarta, Banten Area では、発電量が需要に対して常に不足しており、需要に対する発電量の不足量は、2020 年には 6500MW 程度まで増加する。本事業の対象区間である Central Area から West Area への送電量は、2014, 2015 年には 3000MW 程度、2020 年には 4000MW 程度まで増加する。既設の 500kV 送電線（2 ルート）による Central Area から West Area への送電可能量は、発電設備の運転条件により異なるが、3000MW～4000MW であり、ほぼ限界値に近いレベルとなっている。

### 2.3 系統解析の結果を踏まえた本事業の必要性および妥当性

本事業は、近い将来開発が期待されているジャワ島北部に点在する3つの大型発電所の電力を、ジャワ島西部のジャカルタ首都圏へ安定的に送電することを目的としている。これらの発電所で発電した電力を送電するにあたり、本事業を実施しない場合に想定される課題を整理し、その課題の解決策の中で最も効率的な解決策を検討することにより、本事業の必要性を検証する。

なお、解析対象年度は2017年を基準年としている。2017年は、ジャワ島北部に点在する3つの大型発電所の多く（Tanjung Jati B - #3, 4; Central Java - #1,2; Indramayu - #1）が商業運転を開始していることに加えて、ジャワースマトラ連系線も運用開始する年であることを考慮した。

図4に本事業を実施しなかった場合の結果を示す。なお、図は500kV送電線の潮流のみを示している。

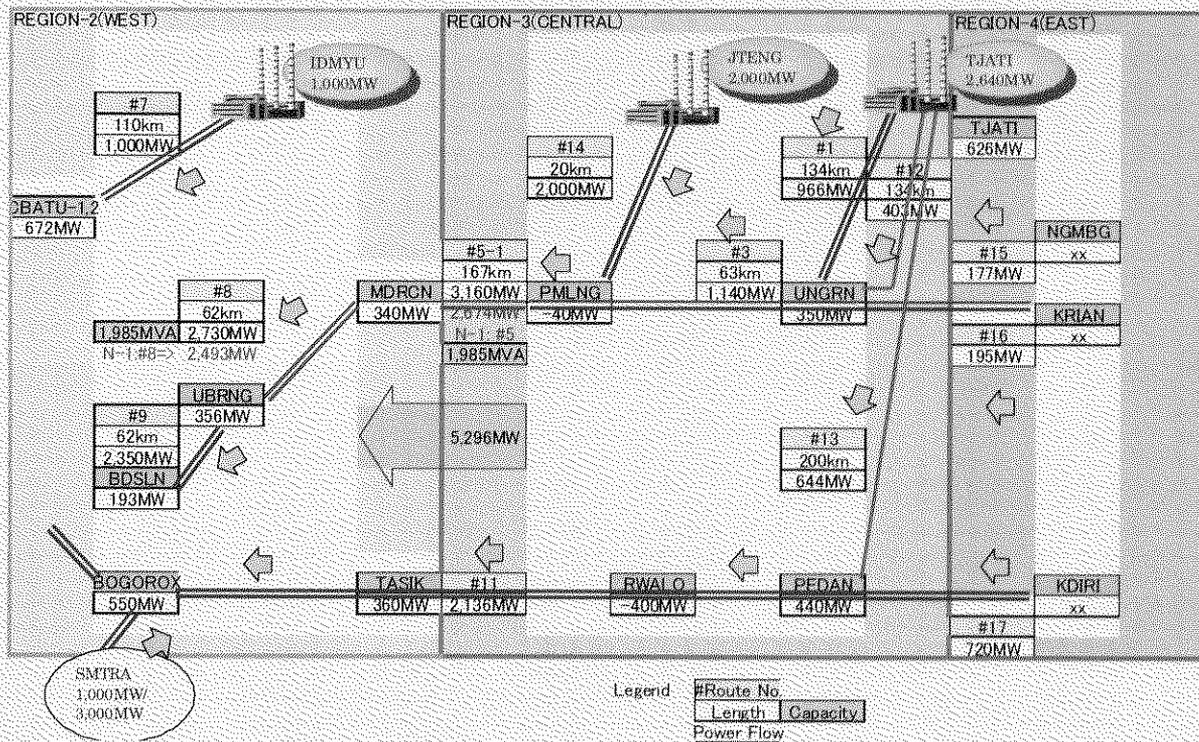


図4 本事業を実施しなかった場合の潮流解析結果（2017年）

上図からわかるように、Pemalang - Mandirancan 変電所間および Mandirancan - Ujung Berung 変電所間における1回線事故時（N-1事故時）には、残った健全回線の潮流が熱容量を超過する。対策としては、新たに送電線を建設すること、対応する区間の容量を増加させること、あるいは潮流を他の区間に振り分けるために、発電所の運用制限や、発電所の接続方法を変更することなどが挙げられる。

図5に本事業を実施した場合の潮流計算結果を示す。

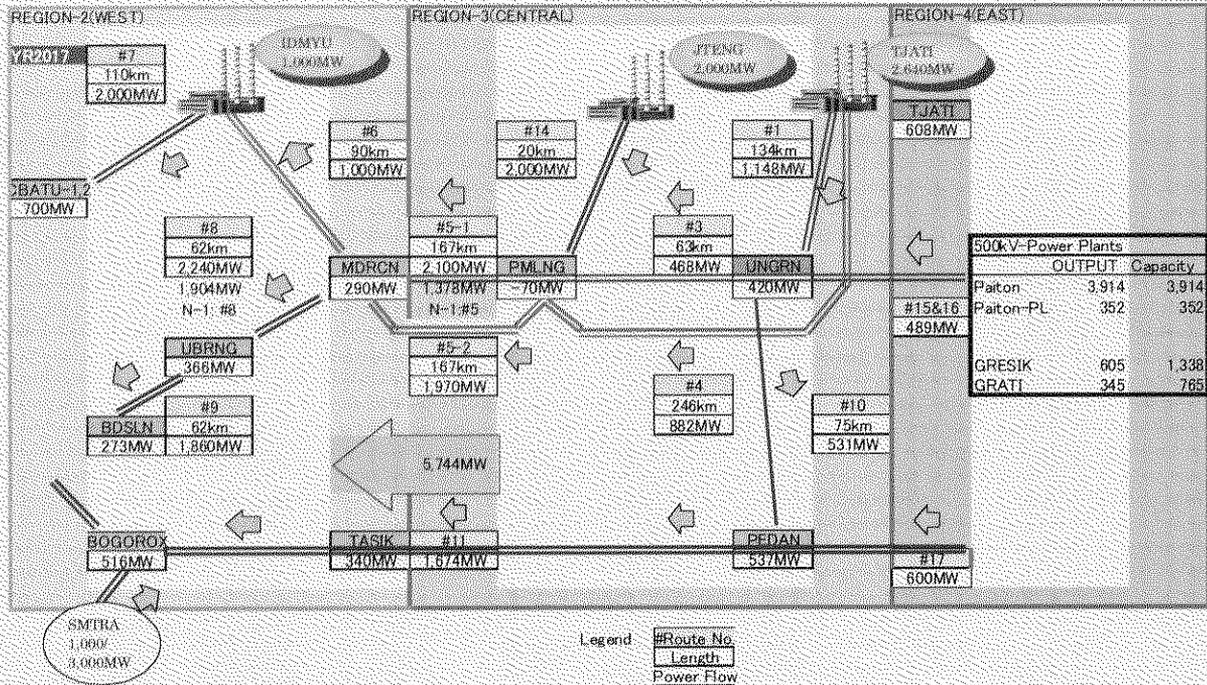


図 5 本事業を実施した場合の潮流解析結果 (2017 年)

図 5 に示されるように、本事業の実施によって当該区間の容量超過の問題が解消されるため、本事業の必要性が確認できる。同様の潮流計算を他年度、2015 年、2020 年についても実施し、同様の結果が得られている。これらの解析結果により、本事業の必要性が確認された。

## 2.4 本事業の実施に関する課題

- 2015 年以降、Indramayu 発電所と Cibatu 変電所間の送電線がないと、Mandirancaan - Ujung Berung - Bandung Selatan 変電所間が、N-1 事故時に過負荷になる。この状況を回避するために、中部および東部ジャワ地域の石炭火力発電所の合計出力を 1,200 MW 以上抑制しなければならない。本事業の効果を最大限生かすためには、本事業と同一時期に Indramayu - Cibatu 間の送電線を建設しておく必要がある。
- 2020 年以降、すなわち、Indramayu 発電所 (2 ユニット) の運転開始以降に、Mandirancaan - Ujung Berung 変電所間が N-1 事故時に過負荷する。この場合、もう一方の健全回線も OLR (過負荷リレー) によってトリップさせることができれば、過負荷区間を解消できるために、当該区間の容量を増加させる必要性はない。この際に、留意すべき点はリレーの整定である。さらに、Ujung Berung 変電所近傍の 150 kV 系統がこの 2 回線開放時に過負荷するために、150kV を開放し、ブロック化する必要がある。
  - 一方、当該区間の容量を増加させる場合には、工事期間中の計画停止が必要になる。2015 年には Indramayu に発電ユニットがないため、当該区間は安定供給できるが、2017 年以降は、Indramayu の発電ユニットが運転開始するため、東部からの発電量をある程度抑制しないと当該区間は過負荷となる恐れがある。従って、供給信頼性を確保するために、この発電ユニットが運転を開始する前 (2017 年より前) に、回線の張替を行うべきである。

## 第3章 環境社会配慮

本章では、本事業実施に伴って発生する環境面・社会面の影響を予測し、その影響を的確に評価して、環境カテゴリーのレベルを想定する。

### 3.1 調査結果

#### 3.1.1 自然環境調査

##### (1) 本事業で改変される森林の概況

本事業区域の Ungaran Tx - Indramayu 間には、国際条約や国内法に基づく国立公園、自然環境保全地域等の指定区域は無い。本事業区域内の主な土地利用実体は水田である。

また、本事業区域内の森林は全て人工林で占められており、それらの森林は、森林法によって他の土地利用への変換等が規制されていない、生産林に指定されている。これらの生産林の約2.9ヘクタールが38基の鉄塔用地として、また、約54ヘクタールが送電線用地（ROW）として利用ないし権利設定がなされる。県全体の生産林に占める割合は、24基の鉄塔敷きとして最も多くの森林が利用されるケンダル県の例でも、鉄塔用地で最大で0.14パーセント、ROWとして最大2.6パーセントであることから、森林環境に与える影響は極めて少ないものと思料される。

##### (2) 希少動植物の生育・生息状況

2011年10月から2012年1月にかけて、本事業区域内の表3に示す6箇所希少動植物の生育・生息調査に関するサンプリング調査、及び周辺住民へのヒアリング調査を実施した。希少動植物の対象としては、IUCN（国際自然保護連合）、CITES（ワシントン条約）及び国内法によって保護すべき動植物として指定されている希少動植物を取り上げた。調査結果は以下の通りである。

表3 動植物調査地点の概要

調査地点 付近の鉄塔	県名	調査地点の概況
1 (No.29)	Cirebon	水田地帯。Mandirancan 庁舎より北西15km地点。 周辺には住宅はないが、1km西方は森林地帯（生産林）。
2 (No.563)	Kuningan	水田地帯。Mandirancan 庁舎より南東2km地点。 周辺には住宅はないが、5km西方は森林地帯（保護林）。
3 (No.341)	Tegal	標高80mの森林地帯（林床に穀物等が栽培されているアグロフォレスト林・生産林）。山林従事者の家屋が数件ある。
4 (No.274)	Pemalang	河川合流地点に新設する水田地帯。付近に鳥類の生息環境となる草原類が優先する草原がある。周辺には住宅はない。
5 (No.179)	Batang	標高80-100mの森林地帯（林床に穀物等が栽培されているアグロフォレスト林・生産林）。山林従事者の家屋が数件ある。
6 (No.96)	Kendal	標高50-80mの森林地帯に隣接する丘陵地帯。丘陵地帯は、開墾され、人工林（成長の早い樹種が植栽されている）化されている。

##### (a) 植物

3種（マホガニ、メリンジョ、マンゴ）の希少植物の生育が本事業区域周辺で確認された。しかし、本事業区域内ではその生育は確認されなかった。

これらの3種は、いずれも IUCN で希少植物として分類されているが、その保護の必要性は、緊急性を要しない種 (Lower Risk) として掲載されている種である。また、3種の中の1種は、CITES でその保護を図る観点から、その輸出が禁止されている希少野生植物として、付属書 II に掲載されている種である。鉄塔敷き、及び ROW 区域内での生育は確認されていないので、これらの希少植物への影響は無いものと思料される。

#### (b) 動物

21種 (鳥類18種、爬虫類1種、両生類1種、昆虫1種) の希少動物の生息が本事業区域周辺で確認された。しかし、本事業区域内ではその生息は確認されなかった。これらの21種中、20種は IUCN で希少動物として分類されているが、その保護の必要性は緊急性を要しない種 (Near Threatened, Lower Risk) として掲載されている種である。他の1種は、CITES でその保護を図る観点から、その輸出が禁止されている希少野生動物として付属書 II に掲載されている種である。鉄塔用地及び ROW 区域内での生息は確認されておらず、これらの希少動物への影響は無いものと思料される。

### 3.1.2 社会環境調査

2011年8月より2012年2月にかけて、社会環境にかかる現地調査を実施した。BAPPEDA や統計局、保健局、教育文化局等の州政府機関を通じ、中部ジャワ州および西ジャワ州において事業対象となる全県について、州・県レベルの統計資料および出版物の収集を行った。また、村長や村役場職員等を対象とするキーインフォーマント・インタビュー調査および質問票を用いた地域住民へのインタビュー調査を行った。現場踏査においては、地域住民に対して自由質問を行い、各地域の社会経済や文化などの特性をより把握するよう努めた。

事業対象各県を通じ、送電線ルートはジャワ島の低地を通過するが、その大半は水田や果樹園である。水田は全体の60パーセントから70パーセントを占め、コーヒー園やゴム園、とうもろこし畑、果樹等が20パーセントとなっている。林地はケンダル県とパタン県に主に集中しており、全体の5パーセントとなっている。多くの人口はスダ人種とジャワ人であり、イスラームが大半を占める。調査対象地域の大半の土地は農地で、住民の多くは農民もしくは農業労働者である。経済的に困難な状況にあることから、雇用機会を求めて都市部へと移る人口が増加しており、中学校レベルで教育を終えている子どもがほとんどである。水道水が徐々に普及しつつあるが、送電線ルート上の多くの住民は、炊事・洗濯・水浴に井戸水を利用している。中部ジャワの一部の地域 (ケンダル県等) では、比較的高度が高いことから、水不足となる村も見られる。なお、送電線ルート周辺では、雨期にあっても洪水が発生するケースは稀である。当該地域ではインフルエンザやデング熱、下痢等が多く発生し、住民は最寄りの保健センターで受診している。

### 3.2 環境影響評価手続きの進捗状況

インドネシア国内法 (空間計画法、2007/26) に基づき、対象事業が州空間計画 (RTRWP) に位置付けられていることが、環境影響評価 (EIA) 実施の前提となる。本事業は、西ジャワ州空間計画 (第22次 RTRW2009-2029) 及び中部ジャワ州空間計画 (第6次 RTRW2009-2029) に、主要なインフラ整備事業としてそれぞれ位置付けられている。

本事業に関する EIA 承認手続きは、Ungaran Tx - Mandirancan 間と、Mandirancan - Indramayu 間の 2 区間に分割された別々の EIA で行われる。PLN は、EIA 実施コンサルタントを 2011 年 6 月に雇用し、2012 年 3 月末までに Ungaran Tx - Mandirancan 間の EIA を実施する契約を締結している。PLN は 2011 年 11 月から 12 月にかけて、法に基づき地域住民を対象とする本事業説明会を対象 7 県で開催した。説明会で出された意見・要望事項等は、引き続き作成される EIA の TOR に反映されることとなっている。

PLN は、当初 2012 年 4 月末に EIA の承認を得る計画で事務手続きを進めていたが、本事業が西ジャワ州と中部ジャワ州の 2 州及び 10 関連県と広範な地域に跨るため、住民説明会等の開催手続きに多大の時間を要し、4 月末に承認を得る当初計画に遅れが生じている。このため、PLN は、今後予定される 2 回の住民説明会、行政側の EIA 委員会による技術審査等を勘案し、EIA の最終承認は、2012 年 6 月中旬になるものと考えている。

また、Mandirancan - Indramayu 間を対象とする EIA 手続きは、2012 年 2 月現在、PLN スマラン建設事務所が中心となって、EIA 実施のコンサルタント選定に向けた事務手続きを進めている段階である。

### 3.3 社会影響

日本政府より有償資金協力を得る場合、PLN は JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010 年 4 月版）に準拠することが義務付けられる。PLN は、鉄塔位置の土地取得と ROW の線下補償を行うが、取得額および補償額は、被影響住民と関係各機関との協議合意によって最終的に定められることとなる。なお、生計向上手段を妨げられるもしくは喪失する住民に対しては、PLN は十分な補償を与えるとともに、支援を行う必要がある。また、関係機関とともに、生活水準や収入機会、生産レベル等を向上させる、もしくは事業開始以前のレベルまで回復させることが求められる。

#### (1) 土地取得

現在の計画の鉄塔位置には家屋等は存在しておらず、従って非自発的住民移転は発生しないと判断される。しかしながら、インドネシア国内法規に基づき、PLN は鉄塔位置の土地所有者に対して土地取得にかかる費用を支払うことが義務付けられ、また、JICA ガイドラインによって再取得価格での補償とすることが求められる。Ungaran Tx - Indramayu 間の鉄塔位置の土地取得面積は 804 基 71 ヘクタールである。

#### (2) 線下補償

PLN が計画している送電線ルートは、道路および河川、そして、ごく少数であるが集落や家屋その他の建設物の上空を通過するものである。Ungaran Tx - Indramayu 間の ROW は、上記の鉄塔位置の土地取得面積を除き、全長 343 キロメートルで約 1,100 ヘクタールである。

### 3.4 環境カテゴリー

上記の検討の結果、本事業実施に伴う環境面、社会面への影響は比較的小さく、環境カテゴリーは「B」と想定する。

## 第4章 送変電設備

本章では、本事業の対象となる設備の概略設計を行い、総工事費、全体スケジュール、資機材調達および施工計画などを提案する。

### 4.1 送電設備の設計

#### 4.1.1 設計条件の決定

本事業は Ungaran 南部の Tx 地点にて、現在工事中の 500kV Tanjung Jati B 送電線と接続されるため、その設計条件は Tanjung Jati B 送電線と統一することとした。

主な設計条件は以下の通りである。

##### (1) 周辺温度

最大温度: 40 °C

最低温度: 10 °C

平均温度: 27 °C

##### (2) 風速

10 分間平均風速 25 m/s (地上高 10 m)

##### (3) 風圧

電線: 400 N/m<sup>2</sup>

がいし連: 600 N/m<sup>2</sup>

鉄塔: 1,200 N/m<sup>2</sup>

##### (4) 最悪時条件および EDS (Every Day Stress) 条件

条件	気温	風速
最悪時	10 °C	25 m/s
EDS	27 °C	Still air

##### (5) 年平均降水量

2,300 mm

##### (6) 年間雷発生日数 (IKL)

100 日/年

##### (7) その他

最大湿度: 100 %

#### 4.1.2 送電設備の概要

##### (1) 電線および地線

- 電線：ACSR 429 mm<sup>2</sup> (Zebra)、4 導体
- 地線：AS 95 mm<sup>2</sup>、1 条
- OPGW：OPGW 100 mm<sup>2</sup>、1 条

##### (2) がいし

- がいし種類・形状：210kN 磁器製懸垂がいし
- 1 連当たりのがいし個数：26 個

##### (3) 鉄塔形状

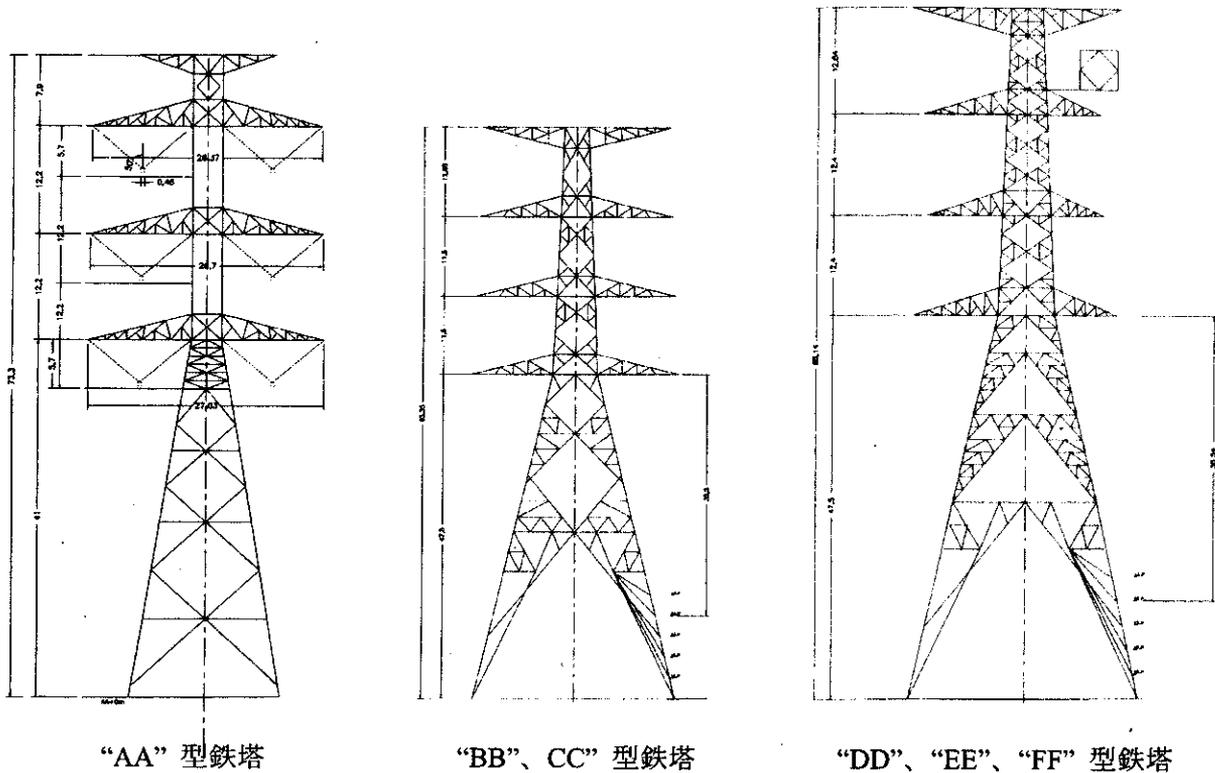


図 6 各種鉄塔形状

##### (4) 鉄塔基礎形状

本事業の送電線ルート沿い 25 箇所を実施した簡易ボーリング結果では、一部に極端に深い箇所があるものの、6m の深度で 200kN/m<sup>2</sup> 以上の比較的安定した地盤が期待できることが判明した。このため、今回の FS レベルでの設計では、図 7 に示す直接型基礎を全基に適用することとした。しかし、具体的な基別の鉄塔基礎型については、詳細設計時の本格ボーリング結果により、杭基礎の適用も含めて個別に検討することとする。

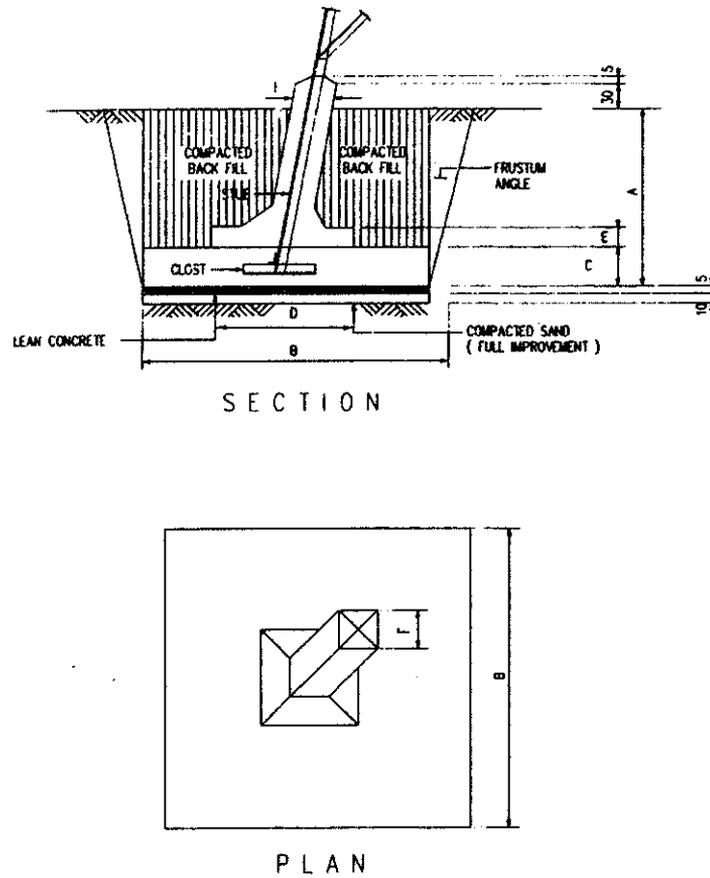


図 7 500 kV 送電線直接型基礎形状

## 4.2 変電機器の設計

### 4.2.1 設計基準

#### (1) 変電機器の設計条件

変電所新設および既設変電所増設の変電機器設計は以下の最新の IEC 規格およびにそれらに関連する IEC の参考文献に準拠する。また、変電機器の絶縁設計に関しては IEC-600711 および IEC-606942 を適用する。

表 4 設計の適用規格

機器	適用規格	
変圧器	IEC-60076	Power transformers
遮断器	IEC-60056	High voltage alternating-current circuit breakers
断路器	IEC-60129	Alternating current disconnectors and earthing switches
計器用変流器	IEC-60185	Current transformers
計器用変圧器	IEC-60186	Voltage transformers
避雷器	IEC-60099	Surge arresters

## (2) 既設変電設備との協調

インドネシアにおいては機器の仕様及びレイアウトは変電所毎に様々である。そのため、本事業において、変電所の増設の際は既設変電機器との協調を考慮し設計する必要がある。

## (3) 母線構成

既設 Mandirancan 変電所および計画中の Indramayu 変電所では 1-1/2 遮断器母線方式を採用している。従って、新設の Pemalang 変電所においても運用面および系統信頼度面を考慮し、1-1/2 遮断器母線方式を採用する。また、150kV に関しては既設の 150kV 変電所と同様に運用面および系統信頼度面を考慮し、複母線方式を採用する。

## (4) 主要変圧器

“RUPTL 2011-2020”によると、2014 年断面での Pemalang 変電所の需要は 190.9MVA を想定している。また、500kV 変電所の主要変圧器は“N-1”基準で設計する必要がある。従って既設変電所との協調を考慮し 500MVA の 2 セットの変圧器を設置する。Pemalang 変電所の合計容量は 1,000MVA とする。

## 4.3 資機材調達および施工計画

### 4.3.1 資機材調達計画

本事業は、送電設備と変電設備のコンポーネントから成るが、以下の観点から、資機材調達を送電線と変電所の 1 ロットで、フルターンキー契約の国際競争入札により請負業者を選定することを提案する。

- ・ 本事業では、約 340km に及ぶ送電線と 3 箇所の変電所を工程通りに運転開始する必要があるが、常に PLN および IPP による新設火力発電所工事とよく連携しつつ、全体工程の管理が必要となる。
- ・ 工程を適切に管理するためには、遅滞のない資機材調達も実施しなくてはならず、メインコントラクター 1 社が資機材調達・管理を行うことが必要不可欠である。
- ・ メインコントラクター 1 社が鉄塔、電線、がいし装置等の大量な資機材を一括調達すれば、資機材の品質を均一に管理できるとともに、資機材コストの低減にもつながる。

### 4.3.2 施工計画

本事業での施工は、以下の観点から、送変電設備ともフルターンキー契約の図 8 に示す資機材調達・施工体制で実施することを提案する。

- ・ 送電線は 500kV 送電線建設の実績があるサブコントラクター 7 社（海外業者を含む）が 49km 毎に施工を担当し、メインコントラクター 1 社がこれを一括管理する。
- ・ メインコントラクター 1 社が資機材調達を行い、サブコントラクター 7 社に供給を行う。



## 4.5 本事業の概算事業費

### 4.5.1 総事業費

総事業費（Tx から Pemalang 変電所及び Mandirancan 変電所を經由して Indramayu 発電所まで）を算出するための積算条件は下記の通りである。

- (1) 土地や送電線下の補償費、環境モニタリング・評価費は現地貨分として含める。
- (2) コンサルタント費を送電線および変電所設備建設費総額（外貨分・現地貨分含）の5%とする。
- (3) 物理的予備費は、外貨分・現地貨分とも5%とする。
- (4) 価格予備費は、外貨分・現地貨分とも3%とする。

表 6 に総事業費を示す。

表 6 総事業費

内 訳	[1,000USD]		
	外貨	現地貨	合計
送電線設備*1	245,116.4	38,341.8	283,458.2
変電所設備*2	55,354.9	17,437.4	72,792.3
建設費計	300,471.3	55,779.2	356,250.5
変電所用地取得費	-	35.1	35.1
鉄塔用地取得費	-	6,949.6	6,949.6
線下補償費	-	1,312.2	1,312.2
環境モニタリング・評価費	-	577.8	577.8
コンサルタント費	15,023.6	2,789.0	17,812.5
物理的予備費	15,023.6	2,789.0	17,812.5
価格予備費	9,014.1	1,673.4	10,687.5
合計	339,532.6	71,905.1	411,437.8

\*1: Tx から Pemalang 変電所及び Mandirancan 変電所を經由して Indramayu 発電所までの 500kV 送電線（342.6km）および Pemalang 変電所への 150kV 引き込み線を含む

\*2: Pemalang 変電所、Mandirancan 変電所および Indramayu 変電所を含む

## 第5章 本事業の評価

本章では、本事業による効果を評価し、経済的内部収益率により経済的妥当性を検証する。その上で、事業実施後に事業の効果を確認するための指標を提案する。

### 5.1 本事業の効果

本事業を中心とした 500kV 送電線の系統図を以下に示す。

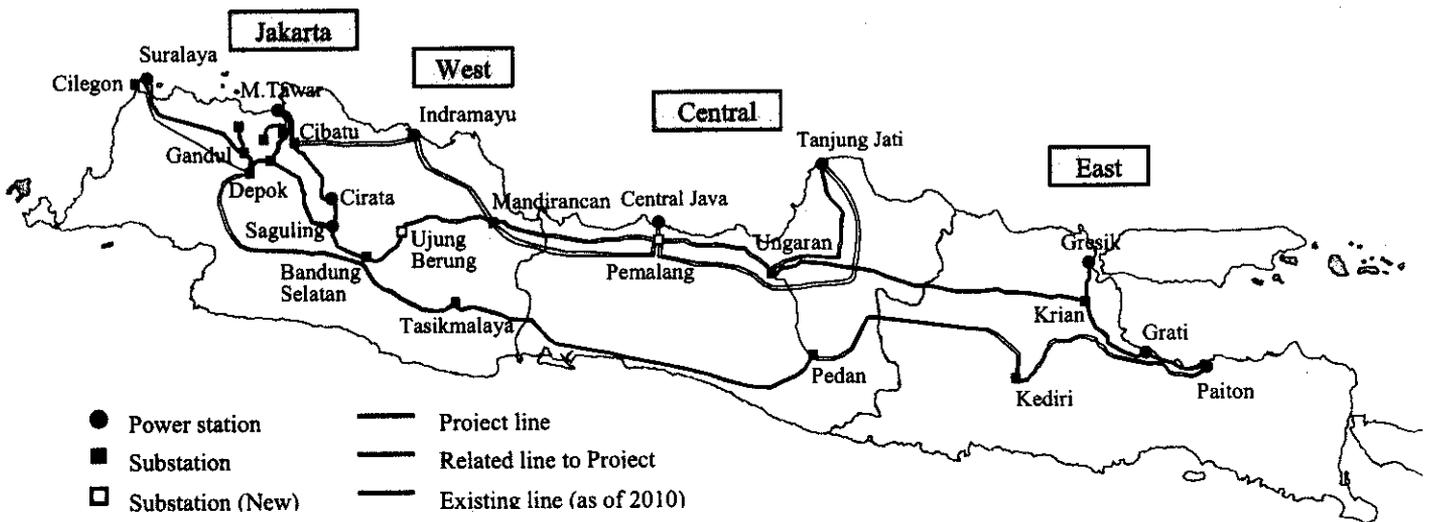


図 9 本事業を中心とした 500kV 送電線系統図

本事業の目的は、ジャワ島中部・東部の発電所で発電した電力を、ジャカルタ首都圏を中心とした西部の需要地に安定的に送電することである。

2011 年現在、ジャカルタ首都圏とジャワ島東部間には 500kV の 2 回線送電線が南北 2 ルート存在しており、両方の送電ルートにより東部地域で発電した電力をジャカルタ首都圏に送電している。本事業完成後には、その送電能力が増加し、今後開発される中部・東部の発電所の電力も含めてジャカルタ首都圏に送電することが期待されている。

#### 5.1.1 本事業受益者の特定

本事業の受益者を特定する場合には、本事業送電線の有無により、状況がどのように変化するかを正確に把握する必要がある。

本事業の送電線には、安い燃料である石炭を使用している Tanjung Jati 火力と Central Java 火力が直接接続されることになるため、両火力からの電力が多く流れるようになる想定される。一方、本事業がない場合に、Tanjung Jati 火力と Central Java 火力の全電力をジャカルタ方面に送ることが可能かという観点で見ると、ジャカルタ近傍に位置する火力の中で天然ガス、HSD などの高い燃料を使用している火力の出力を増加し、東部から西部への潮流量を抑制することができれば、既設の 500kV 送

電線だけで送電可能と考えられる。このように考えると、本事業の送電線の有無により、Tanjung Jati 火力と Central Java 火力の運用は変化しないため、本事業の直接的な受益者とは考えにくい。なお、現計画（RUPTL）が計画通りに進めば、本事業が運用開始する時点では十分な供給余力を保有しており、高い燃料を使用するほとんどの火力は常に出力を抑制して運転しているため、上記のような運用は可能である。

本事業の導入に伴う便益として、送電損失の低減が考えられる。本事業で導入する予定の電線は、既設の電線に比較して、単位長あたりの抵抗値が 65%程度に減少する。さらに、本事業送電線の完成後には、2ルートで送電していた電力を3ルートで送電することになり、一般的には、各送電線に流れる電流が減少する。送電損失は電流の2乗に比例するため、この面からも送電損失の低減が期待できる。本事業関連部分における送電損失の低減量は、東から西に流れる電力の量に左右されるが、最大潮流時で 100MW 程度、年間で 400～500GWh 程度と想定される。この損失低減の効果により、PLN は最も高い燃料を使用している発電所の運転を抑制し、その分の燃料費を節減することが可能となり、若干ではあるが供給原価を下げることに寄与する。つまり、送電損失の低減に伴う便益により、国民全員が本事業の受益者と考えられる。

### 5.1.2 本事業の定性的効果

本事業の送電線建設後には、定量的なメリットとしては、前節で述べたように送電損失の低減がある。それ以外の定性的な効果としては、以下が考えられる。

- (1) 発電所の運用弾力性の向上
- (2) ルート事故時の信頼度向上
- (3) Pemalang 変電所近傍における電力供給品質の向上
- (4) 500kV 変電所における電圧改善

## 5.2 費用便益分析

### 5.2.1 経済評価の条件

本事業の経済的內部収益率（EIRR）と、判断基準とする収益率を比較することで、経済的妥当性を検討した。本事業では PLN からの要望に基づき、判断基準とする収益率を 12 パーセントと設定した。EIRR の算定に際して、次の条件を用いた。

表 7 経済評価の算定条件

項目	条件値	単位
1. 便益 (年間)	67.54	百万ドル
送電ロス削減量 (年間) *	459.56	GWh
重油燃料単価**	0.147	ドル/kWh
2. 運営・維持管理費用 (年間) ***	8.23	百万ドル

\* PLN の 2015, 2017, 2020 年の設備運用計画を基に、年間負荷率を 0.7 と仮定し、調査団にて算出した。

\*\* RUPTL 2011-2020 に基づく値である。

\*\*\* 本事業総費用の 2 パーセントと仮定した。

### 5.2.2 経済評価の結果

EIRR の計算結果は 12.1 パーセントであり、判断基準とする収益率 12 パーセントを上回っているため、本事業は経済的に妥当との結論に至った。

### 5.3 運用・効果指標の提案

本事業の目的は、ジャワ島中部・東部の発電所で発電した電力を西部の需要地に安定的に送電することである。この効果を確認するための指標として、以下の 4 項目を提案する。

なお、目標値としては、RUPTL (2011 年計画) における計画を基に、事業運転開始後 2~3 年後の 2020 年頃の状況を勘案して設定している。送電線の運用状況は、発電設備の運転状況に深くかかわってくるため、大規模石炭火力の運転開始時期の変更などの大きな変更があった場合には、目標値のレベルは異なってくる可能性がある。

表 8 提案する運用・効果指標

項目	目標値	指標の意味
(1) 500kV Pemalang - Mandirancan 間送電線 (新設分) の潮流状況 (年間電力輸送量)	5,200 GWh/年	本事業により建設された送電線の利用状況を示す指標 この指標を使用して、送電線の抵抗値から損失の減少効果 (推定値) を算出することは可能
(2) Mandirancan - Indramayu 間送電線の潮流状況 (年間電力輸送量)	1,300 GWh/年	
(3) 東部・中部に位置する発電所の発電抑制回数 (系統制約の理由によるもの)	0 回	発電所の運用弾力性の向上効果を示す指標
(4) Mandirancan 変電所、Ungaran 変電所 500/150kV 変圧器の最大負荷率	Pemalang 変電所運転開始前と比較して 10%低下	Pemalang 変電所に設置する変圧器の有効性を示す指標

## 第6章 新技術の適用可能性

本章では、本事業実施に伴って発生する可能性があるとして抽出した課題について、解決策の一つとして新技術を適用する案について検証する。

### 6.1 低弛度・増容量電線の適用

系統解析の結果では、本事業の運用開始後に、既設の Mandirancan-Ujung Berung 間送電線の送電容量が少ないことに起因して、この送電線に1回線事故が発生した際に、健全な回線に過負荷が発生することが判明した。この課題を回避する方策として、調査団は、1回線事故が発生した場合には、残った健全な回線も停止させるという方策を提案している。(2.4参照)しかしながら、現在の PLN の系統運用では、この方策に対応できるようなシステムが構築されていないため、新たにシステムを構築する必要が生じる。

別の方策としては、当該区間の送電容量を増加させるという手が考えられる。しかし、単純に送電容量を増加させる場合には、送電鉄塔を建て替える必要が生じ、大きな資金が必要となる。そこで、既設の送電鉄塔を活用して送電容量を増加させる方策について、検討を行った。具体的には、最近開発された新技術である鉄塔にかかる張力が従来のみで、弛みが従来の送電線よりも少ない送電線に張り替える案について、その適用可能性について検討した。

増容量低弛度電線適用案について、新規送電線建設と比較した場合のメリット、デメリットを以下に示す。

#### (1) メリット

- ◆ 総工事費が送電線新設時に比べ、43%で実施できる。
- ◆ 既設鉄塔を活用するため、鉄塔用地取得および EIA が必要ない。
- ◆ 電線張替作業を本事業運用開始後の 2016 年以降で、Indramayu 発電所 4 号機の運転開始前に実施すれば、対象区間全線を停止できるため、僅か 6 ヶ月間で張替が可能となる。

#### (2) デメリット

- ◆ 既設送電線の停止期間を PLN と調整し、適切な電線張替工程を決定する必要がある。
- ◆ 電線張替作業に当たり、住居および主要道路横断箇所等では、適切な安全対策が必要となる。

### 6.2 四回線鉄塔の適用

現在計画中の Pemalang 変電所の位置は、ジャカルタスラバヤ間国道のすぐ北側であるため、この変電所に既設 500kV 送電線を 2 回線引き込み・引き出し、さらに新設 500kV 送電線を 2 回線引き込み・引き出すと、すべてを 2 回線鉄塔で建設したとしても、4 ルート 8 回線の送電線が国道を横断することになる。国道南北の現在農地として利用されている限られた敷地に、高さ 80m 級の鉄塔 4 基ずつ、非常に短い間隔で建設されることになり、景観面、鉄塔用地取得面、線下補償面等で問題に

なる可能性がある。

従って、鉄塔の基数を減らす方策として、4回線鉄塔の適用可能性について提案する。

(1) 500kV 4回線鉄塔の形状

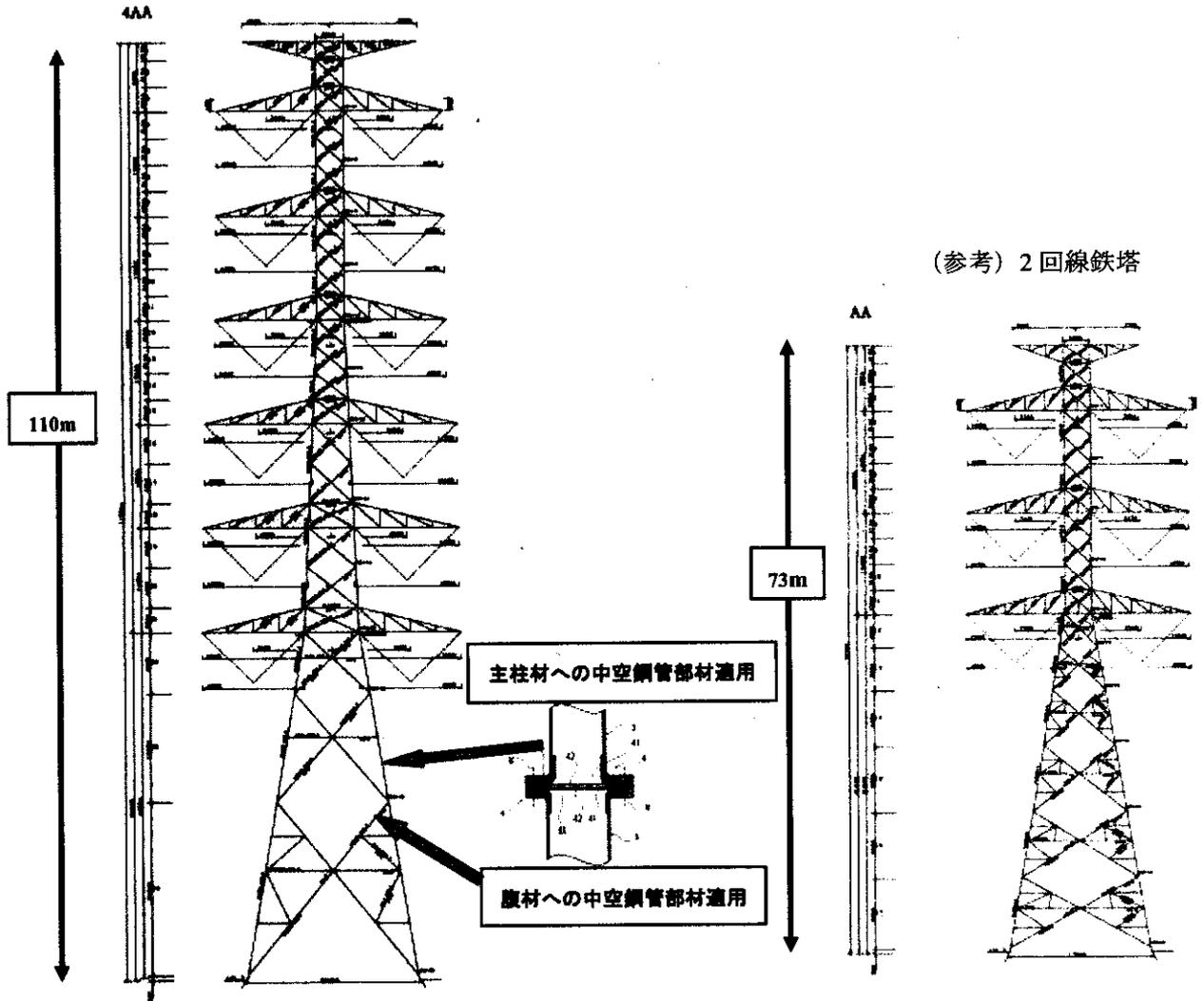


図 10 4回線鉄塔の形状

(2) 500kV 4回線鉄塔適用によるメリット、デメリット

表 9 に 2回線鉄塔・2ルートと 4回線鉄塔・1ルートの性能比較を示す。4回線鉄塔では、鉄塔高が約 1.5 倍、建設コストが約 2 倍となるが、線下補償幅が 1 ルート分で済むため、用地面で有利である。その他の性能は、2回線鉄塔とほぼ同等である。

従って、当該箇所への 4回線鉄塔の適用を強く推奨する。

表 9 500kV 2 回線鉄塔と 4 回線鉄塔の性能比較

	2 回線鉄塔×2 ルート	4 回線鉄塔×1 ルート	備 考
鉄塔高	73m (1.0)	110 m (1.5)	
鉄塔重量	38 ton × 2 基=76 ton (1.0)	88 ton (1.2)	
線下補償幅	34 m × 2 ルート= 68 m (1.0)	34 m (0.5)	
工事費 (参考)	1.0	約 2 倍	
雷事故発生率 (参考)	0.3919 回/100km・年 (1.0)	0.2826 回/100km・年 (0.7)	
地上電界強度	1.4 kV/m (1.0)	1.8 kV/m (1.3)	4 回線鉄塔電線相 配列の配慮要
鉄塔部材腐食	問題なし (L 字形部材)	問題なし (中空鋼管)	海から約 15km 離 れているため

## 第7章 まとめ

### (1) 本事業のスコープ

本事業のスコープは、ジャワ島中部の Ungaran Tx 地点からジャワ島西部の Indramayu 変電所に至る全長 342.6km の 500kV 送電線、Pemalang 変電所近傍の 2km の 150kV 送電線、および途中経由する Pemalang 変電所、Mandirancan 変電所、Indramayu 変電所への接続である。

### (2) 本事業の必要性と妥当性

本事業の送電線がない場合には、Pemalang - Mandirancan 間および Mandirancan - Ujung Berung 間における 1 回線事故時 (N-1 事故時) には、残った健全回線の潮流が熱容量を超過する。この対策として、新たに本事業の送電線を建設することにより、当該区間の容量超過の問題が解消されるため、本事業の必要性が確認できる。

しかし、Indramayu - Cibatun 間の送電線がないと、Mandirancan - Ujung Berung - Bandung Selatan 間が、N-1 事故時に過負荷になる。この状況を回避するために、本事業と同一時期に Indramayu - Cibatun 間の送電線も建設しておく必要がある。

### (3) 環境カテゴリー

本事業実施に伴う環境面、社会面への影響は比較的小さく、環境カテゴリーは「B」と想定する。

### (4) 送変電設備

#### (a) 総事業費

総事業費は 411 百万ドル程度である。

#### (b) 施工スケジュール

両政府間契約から運転開始まで、54 ヶ月を要する。

### (5) 経済的妥当性

本事業の導入に伴う便益として、送電損失の低減があり、その便益に基づいて計算した EIRR の値は 12.1 パーセントであり、判断基準とする収益率 12 パーセントを上回っているため、本事業は経済的に妥当である。

