

平成 19 年度

地球環境・プラント活性化事業等調査

「インドネシア・西ジャワ 500 kV 送電網増強事業  
調査」

(インドネシア)

報告書要約

平成 20 年 3 月

東電設計株式会社  
三菱商事株式会社

## 要約

### 1.1 プロジェクトの背景と必要性

インドネシア国ジャワ島の電力需要は 2006 年実績で我が国の約 12 分の 1 の 15,954MW であり、ジャワ島を西部、中部、東部の 3 地域に分けると全需要の 60%がジャカルタを中心とする西部ジャワに存在している。

一方、西部ジャワの電源設備量は全体の約 48%であり、同地域は電源が不足しており、その不足分を他地域、特に東部ジャワからの電力輸入に頼っている。このため大電力が東部ジャワからジャカルタまで約 800km の長距離に渡り送電されることとなり電力系統に大きな負担を強いているとともに、供給信頼度を確保する上での大きな問題となっている。

このため送電線増強が必要となったが、人口高密度地域での新規送電線建設は困難性が高く計画通りの完成が期待できない。これらの反省から、需要地近傍の電源開発を推進することに電源開発方針は変更された。

電力需要は今後 6.5%の伸び率で増加し、2016 年には約 1.9 倍の 30,080MW になるものと予想されるが、この方針を反映して供給力としての電源は 2007 年から 2016 年までの増加量 18,176MW の約 80%が西部ジャワで開発される計画である。さらに 2011 年までのジャカルタ以西の電源開発量は 2,400MW に達する見込みである。

これら旺盛な西部ジャワでの電源開発に対し、既設の送電系統は Suralaya 発電所（変電所併設）からジャカルタ近郊の Gandul 変電所に至る 110km の 500kV 送電線 2 回線と、Suralaya 発電所から Cilegon 変電所を経由してジャカルタ近郊の Cibinong 変電所に至る 500kV 送電線 1 回線の、合わせて 3 回線のみであり、Suralaya - Gandul 線はインドネシアとしては最も初期の 1983 年に建設された 500kV 送電線であり送電容量が 1,980A (1,628MW) と小さく、早晚送電線の過負荷が予想され送電線増強が必要となる。

インドネシア電力公社 (PLN) の 2007 年版電力長期計画 (RUPTL) に示された Suralaya - Gandul 線の 2010 年の電力潮流は 2,500MW であり、2 回線が健全時には問題無いものの、1 回線が事故により停止した場合には、非停止側回線の潮流は、送電容量を超過し送電線は過負荷する。500kV 送電線等の基幹系統を構成する重要設備は、設備の事故停止時にも停電を回避し安定供給を可能とするため、設備 1 単位の事故停止時にも設備は過負荷せずに送電の維持が可能である事を設備計画の基本としており、この基準に照らし合わせると Suralaya - Gandul 線は過負荷対策が必要である。

さらに第 1 次現地調査においてインドネシア側からジャカルタ近郊の Cibinong 変電所から Bekasi 変電所、Cawang 変電所を経由して Muara Tawar 発電所に至る 500kV 送電線も将来過負荷が発生する恐れがあり調査対象に加えて欲しいとの要請があった。調査の結果、新鋭石炭火力の開発により旧式の Tanjung Priok 石油火力発電所を休止する計画であり、これにより 1 回線事故時に過負荷する Cibinong 変電所から Bekasi 変電所に至る 38km の送電線 (送電容量 : 1,980A (1,628MW)) も検討対象に加えることとした。

## 1.2 プロジェクトの内容決定に関する基本方針

PLN は西部ジャワ地域での電源開発による送電線過負荷対策として、Suralaya - Gandul 間に 500kV 送電線 1 回線を新設する計画を 2006 年版の RUPTL に計上した。しかしインドネシアにおいても近年住民の権利意識の拡大から送電線の通過に対する反対運動は高まりを見せており、用地費の高額補償要求と合わせ新規送電線の建設は益々困難化している。

このため計画された Suralaya - Gandul 間の 1 回線送電線は、Gandul 変電所がジャカルタ郊外の人口高密度地域に立地していることから建設の困難化が予想され、2007 年版 RUPTL では Suralaya - Gandul 間の送電線新設は姿を消している。

Cibinong - Bekasi 線に関しては、全区間ジャカルタ近郊を通過しており、新規送電線建設は不可能であり送電線新設以外の対策に頼らざるを得ない。このような状況から PLN は既設送電ルートを利用した送電容量増加対策にも関心を示している。

既設送電線ルートを活用した送電容量増加対策は、最も困難な用地取得が不要であることから工期遅延の可能性が小さい他、工事費が安価であるメリットがある。

## 1.3 プロジェクトの概要

既設送電線の送電容量を増加させるには、新規に架空送電線を建設するのが一般的である。しかし、電線を張替えるだけで、既設送電設備と同程度の地上高を確保しながら電流容量を約 2 倍以上に上げて増容量化を図れる電線が、日本の技術で開発されている。

これを利用して既設 500kV Suralaya - Gandul 線ならびに Cibinong - Bekasi 線の増容量化を図るものである。増容量電線として国内外で使用実績の大きいインバ心超耐熱アルミ合金より線ないしギャップ型鋼心アルミより線を採用することを前提とした。

### 1.3.1 必要送電容量

Suralaya 発電所からジャカルタ方面に送電するルートは Suralaya 発電所から Gandul 変電所に至る北線 2 回線（1 回線当たり送電容量 1,628MW）と Suralaya 発電所から Cilegon 変電所を経由して Cibinong 変電所に至る南線 1 回線（送電容量 2,033MW）の合わせて 3 回線が存在する。電力潮流はオームの法則により南北両ルートに分流するため北線の送電容量が過大であると南線が過負荷する。このため南北両ルートの送電容量のバランスを図ることが重要である。

張替対象の Suralaya - Gandul 線の 1 回線当たりの送電容量を 3,246MW とすれば南北両ルート送電線の送電容量がバランスのとれたものとなり、この値は張替前の既設電線の送電容量 1,628MW の 1.99 倍であり、増容量電線の技術的限界値とほぼ等しく、必要送電容量と技術的制約とが調和の取れたものになる。

Cibinong - Bekasi 線の送電容量はジャカルタ近郊の貴重な送電ルートであるため技

術的限界値の Suralaya - Gandul 線と同じ 3,246MW とした。

### 1.3.2 張替工事期間中の系統運用

Suralaya - Gandul 線は 110km の距離があり、2 回線全線を張り替えると工事期間は 1 年半程度と予想される。張替は当該送電線を停止して工事を実施するため他の送電線に負担をかけることとなり、この期間の過負荷を避けるため Suralaya 発電所の出力を 1,200MW 抑制する必要がある。発電力の抑制は需給に大きな影響を与えることとなるので新規発電所が運転を開始し、一時的に需給が緩和する 2010 年から 2011 年にかけて工事に着手するものとした。

系統の送電能力が低下する張替工事期間中に系統事故が発生しても系統は安定に運転出来なければならない。安定度解析の結果、過負荷回避のための Suralaya 発電所の 1,200MW 出力抑制の条件下では安定運転の維持が可能であることが確認できた。

Cibinong - Bekasi 線の張替は、工事力確保の観点から工事の重複を避けるため Suralaya - Gandul 線の張替工事終了後の 2012 年に実施するものとした。張替工事期間中に他の 500kV 送電線の過負荷は生じないものと予想されるが、張替工事区間には 150kV 送電線が併架されており、上回線の 500kV の張替に当たり下回線の 150kV 送電線を工事安全の観点から停止せざるを得ず、150kV 系統の過負荷を発生させる可能性があるので十分に検討する必要がある。

### 1.3.3 地上高および離隔

20 年以上前に建設された既設送電線の電線の一般箇所における地上高は基準値である 12.5m に対し余裕を持つ 15m で設計されており、電線と建造物や道路との離隔距離に関する現在のインドネシア国の基準を満足している。しかし地上高の基準は満たすものの、他の 70kV や 150kV 送電線との交差箇所でのお互いの離隔は現行基準より小さい値で設計されていた。そのため実際の離隔の最小値は 8m と現行基準の 8.5m を下回っているため、今後詳細な調査が必要である。

### 1.3.4 適正電線の選定

#### (1) 電線種類

必要送電容量は既設送電線の約 2 倍の 3,246MW であり、この電流が流れたとき現在の地上高および他工作物との離隔に関する基準を満足することが必要となる。また電界・磁界強度、コロナ騒音・ラジオ雑音等の基準も合わせ満足する必要がある。これらの要求を満たし推奨される増容量電線は以下の 2 種類を対象とした。

#### ① インバ心超耐熱アルミ合金より線 (ZTACIR)

電線は通電電流が大きくなると温度上昇による熱膨張で電線は伸び、弛み (弛度)

が大きくなり電線地上高は低くなる。電線地上高が基準値まで低くなった値で送電容量は決定される。このため電線の温度上昇による伸びを抑制すれば送電容量を増加させることが出来る。インバ心電線は鋼心部分に線膨張係数の小さいインバ線を使用することにより、目的を達成している。

## ② ギャップ型鋼心アルミより線 (GTACSR)

一般の電線は鋼線とアルミ線の2層構造であるが、両者が堅固に固着しているため温度上昇による伸びは鋼とアルミの平均で決定される。ギャップ型電線は鋼線とアルミ線の層の間に間隙を設けることにより、アルミの伸びの半分の鋼のみの伸びに抑制することで目的を達成している。

## (2) 送電ロス

増容量電線は既設電線とほぼ等しい導体断面積と抵抗値にも拘わらず、通電電流は倍増するため、送電ロスは増加しギャップ電線で2倍、インバ心電線で2.5倍程度となる。

### 1.3.5 電線張替工法

#### (1) 候補電線の架線工法における特徴

インバ心電線は、一般電線と同様の延線・緊線工法で張替える事が出来る。一方、ギャップ型電線は、延線作業は基本的には一般電線と同様であるが、緊線作業に際して鋼心のみを把持して、アルミ線に力を分担させないように耐張クランプを取り付ける作業が必要となる。

#### (2) 一般引抜工法 (一般箇所)

既設電線の後に張替え用の増容量電線を繋げ、旧線を引き抜くことにより延線を行う工法であり、横過物がある場合には横過物の上部に竹等を用いて防護足場を構築して横過物との接触を回避する必要がある。しかし4導体を一度に張替え作業を行うことが出来るために、工事作業速度は速い。

#### (3) 吊金工法 (人家密集・重要物横過箇所)

人家密集地や重要物横過箇所等で、防護足場構築が困難と思われる箇所にあっては、既設電線の下に2個の豆金車を有する吊金車を約20m~30mの間隔で吊下げ、下側の豆金車を使って張替え用増容量電線を引き抜く工法である。この場合は、工事中の電線の垂れ下がりや、既存電線によって拘束されるので、下に住宅等の横過物があっても、足場を構築することなく、延線を行うことが出来る。ただし4導体の場合、電線1本毎を張替えることになるので、工事作業速度は遅くなる。

#### (4) 工事期間

一般引抜工法を採用した場合、4 導体電線を同時に延線出来るので、1 班あたり約 8km/月/回線の進捗が期待できる。一方、吊金工法を採用した場合、電線一本毎の架線になることから、約 4km/月/回線程度の進捗しか期待出来ない。

経過地の状況から一般引抜工法と吊金工法を選択し、2 班で施工した場合、設計や製品製造を除く純施工期間は Suralaya - Gandul 線で 17 ヶ月、Cibinong - Bekasi 線で 5 ヶ月程度と見積もられる。

#### 1.3.6 事業総額

本プロジェクトの事業費は送電線工事費、変電工事費、エンジニアリング費並びにアドミニストレーション費等で構成されている。

事業費は、詳細な設計に基づき個々に積み上げられたものではなく、これまでの類似送電線の事業費等から推定されたもので、事業総額を表 1-1 に示す。

表 1-1 事業総額

単位：百万ドル

項目	費用
送電線工事費	83.0
変電工事費	24.0
コンサルティング費	5.4
アドミニストレーション費	10.7
合計	123.1

(出典：調査団作成)

なお、事業総額の中には次の費用は含まれていない。

- ・環境影響評価実施費用
- ・公的機関からの承認・ライセンス等の取得費用
- ・税金
- ・エスカレーション

#### 1.3.7 経済分析結果概要

本プロジェクトの経済評価には、代案法を適用した。本調査プロジェクトの電線張替に対し同一の送電容量を有する送電線を新設する事業を代案として比較した。表 1-2 に示すように経済的内部収益率 (EIRR : Economic Internal Rate of Return) は、12.72%であり、世界銀行やアジア開発銀行等の開発途上国における割引率 (資本の機会費用) の平均

的な判定基準の10%を超えており、B/Cも1.031で1.0以上となり、当プロジェクトは実現性が高いと言える。

また、感度分析の結果から便益が5%減少した場合、費用が5%増加した場合、EIRRはそれぞれ8.34%、8.53%となりこれらのケースにおいても、当プロジェクトは経済的にその実現性があると言える。

表1-2 EIRR結果

EIRR (%)	B/C Ratio	B-C (Thousand US\$)
12.72	1.031	3,133

### 1.3.8 財務分析結果概要

財務収益性の指標となる財務的内部収益率(FIRR: Financial Internal Rate of Return)は12.6%であり、円借款により資金調達をする場合の貸付金利を上回っている。

また、便益/費用比率(B/C Ratio: Benefit Cost Ratio)も1.048と1より大きいため、当該プロジェクトの財務的収益性は十分と言える。さらに、感度分析のため、財務費用が10%高くなり、財務便益が10%減額された場合でも、FIRRは10.14%となり、ある程度の収益性を確保できる結果となった。

### 1.3.9 代替案との比較結果及び最適案選定理由

インドネシアではジャカルタ以西の旺盛な電源開発により既設送電線の過負荷が予想され、電力の安定供給のため、送電容量の増加は喫緊の課題である。

送電容量の増加方策としては送電線の新設、既設送電線の電線張替の2案があるが、後者は以下のメリットがある。

- ① 総合工事費が安い
- ② 完成遅延の大きな要因である用地取得が不要で計画通りの完成が期待できる
- ③ 送電線ルート数が増加せず環境への負荷が小さい

### 1.3.10 環境的・社会的影響

本プロジェクトは既設電線の増容量電線への張替により2倍程度の送電容量増加を図るものであり、新たな送電線の建設と比べ用地取得が不要で住民移転も不要である。

電流が増加するため磁界強度は増加するものの規制値100 $\mu$ Tに対し最大でも53.1 $\mu$ Tと十分に小さい。電界強度は張替前と変化無く最大で5.5kV/mであり、規制値の5kV/mを若干上回るが、電線地上高を1m程度引き上げれば4.9kV/mとなり規制値を下回る。実際の地上高は、かなりの箇所でも1m程度の余裕があり、また余裕のない箇所でも各種の対策が十分可能と考えられる。

これらから環境的・社会的影響は小さいと言える。

#### 1.4 プロジェクトの実施スケジュール

本プロジェクトが円借款事業として、これまでの類似プロジェクトでの実績に本調査結果を考慮して、両国間での円借款締結からプロジェクトの営業運転開始までの実施スケジュールは、次のように想定される。

##### 建設準備期間

・コンサルタント選定、契約	12ヶ月
・現地調査・EPC*入札仕様書準備	8.5ヶ月
・応札準備	8.5ヶ月
・応札結果の評価・EPC選定、契約	4.5ヶ月
計（業務重複考慮）	28ヶ月

##### 建設期間

・Suralaya — Gandul 線張替工事	26ヶ月
・Cibinong — Bekasi 線張替工事	13ヶ月
・変電設備取替工事	27ヶ月
計（工事重複考慮）	31ヶ月

合 計 59ヶ月

\*注) EPC (E: エンジニアリング、P: 購入、C: 建設の一括契約)

#### 1.5 円借款要請・実施に関するフィージビリティ

西ジャワ系統の電力供給能力の強化はインドネシアの緊急課題であり、現在インドネシア国では Crash Program が推進されており同プログラムは 2010 年までにインドネシア全体で 10,000MW の石炭火力の開発を促進する事となっている。同状況下、発電容量増加に伴う送電容量の増加も必要となり、案件化する可能性は高いと考えられる。

このためインドネシア政府が本プロジェクトを円借款案件として日本政府に要請する事が大きく期待できる。

#### 1.6 我が国企業の技術面等での優位性

送電容量をほぼ2倍に増加させることが可能な増容量電線は、送電線用地の確保が困難であるとともに需要密度の高い日本で開発された電線である。本プロジェクトで採用を検討したインバ心超耐熱アルミ合金より線やギャップ型鋼心アルミより線は、いずれも日本の技術で、それぞれ1982年と1971年に開発された製品である。また、電流を流すアルミ素線部分に使用されている耐熱系アルミ合金線も、日本で1970年以降に開発され、広く

使用されてきた材料で、2007年2月には、日本が作成した規格が認められて国際電気標準会議(IEC)において IEC 62004 として国際規格の制定を成し遂げたものである。さらに、インバ心超耐熱アルミ合金より線とギャップ型鋼心アルミより線も、IEC の第7技術委員会(TC7)で規格化を進めており、いずれも日本がその規格案の作成を担当しているものである。

インバ心超耐熱アルミ合金より線は、現在日本、韓国、オーストリアで製造が可能であるが、いずれもコア部品であるインバ素材は日本からの供給品である。また、ギャップ型鋼心アルミより線は、日本のみが製造可能な製品である。

#### 1.7 案件実現までの具体的スケジュールおよび実現を阻むリスク

インドネシア国に供与されている円借款累積額は4兆1300億円に達しており、1968年に最初の円借款がプレッジされ、その後順調に毎年採択されている。円借款要請前に相手国実施機関である PLN ならびに相手国政府機関である国家計画開発庁(BAPPENAS) に対し新規国家開発プロジェクト案件として承認させる必要がある。

同状況下、インドネシア国は円借款案件の活用が多く今までの実績ならびに計画に則った返済により実現を阻むリスクはないと考慮する。

案件実現までのスケジュールを以下の通り示す。

2008年1月31日	調査レポート完成
2008年10月頃	PLNからBAPPENASに対してブルーブックへの記載要請
2009年4月～6月	JBIC Contactミッション派遣
2009年7月	日本/インドネシア政府要請前協議
2009年12月	インドネシア政府から日本政府への円借款正式要請
2010年2月～3月	円借款手続き、交換公文(E/N)、円借款契約調印(L/A)

#### 1.8 調査対象国内での事業実施地点が分かる地図

本プロジェクト事業は、インドネシア国ジャワ島西部の Banten 州 Suralaya 発電所から西ジャワ州 Gandul 変電所に至る既設 500kV 送電線 110km ならびに西ジャワ州 Cibinong 変電所から同州 Bekasi 変電所に至る 500kV 送電線 38km の電線を張替え送電容量を増加させるプロジェクトである。両送電線と首都のジャカルタ市との位置関係を図 1-1 に示す。

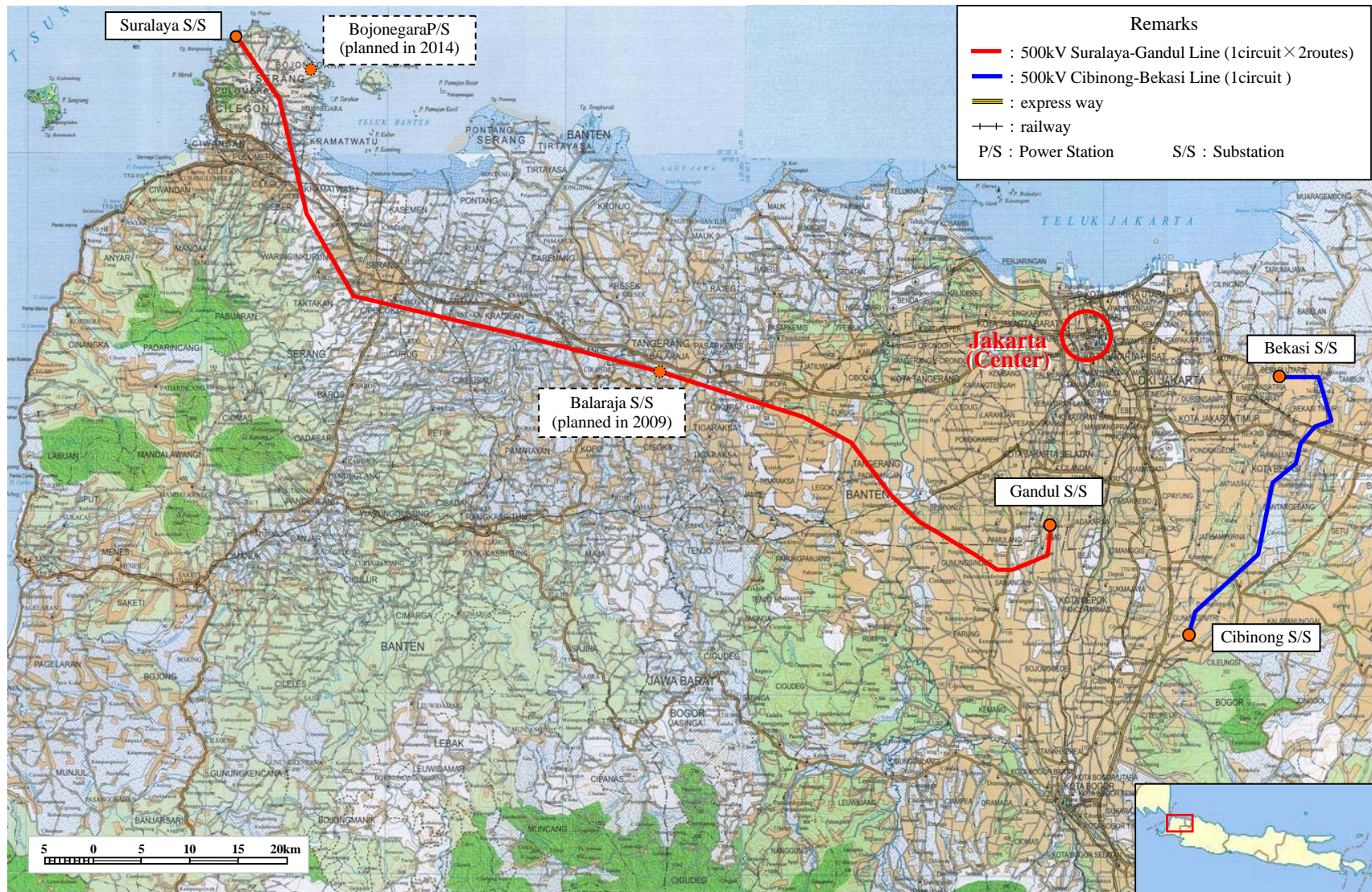


図 1-1 事業実施地点の地図