

カンボジア王国  
カンボジア電力公社

カンボジア国  
プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業  
フェーズ 2 準備調査  
ファイナルレポート

平成 26 年 12 月  
(2014 年)

独立行政法人 国際協力機構  
(JICA)

株式会社ニュージェック  
中国電力株式会社

東大
JR (先)
14-060

**カンボジア国プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業フェーズ2 準備調査  
ファイナルレポート**

## 目 次

### 第1章 序 章

1.1	本調査の背景 .....	1 - 1
1.2	本調査の目的と活動内容 .....	1 - 2
1.2.1	本調査の目的 .....	1 - 2
1.2.2	対象地域 .....	1 - 2
1.2.3	調査業務の内容 .....	1 - 2
1.2.4	本事業のスコープ .....	1 - 4
1.3	実施体制 .....	1 - 5
1.3.1	EDC 側のカウンターパート .....	1 - 5
1.3.2	JICA 調査団 .....	1 - 6

### 第2章 カンボジア電力セクター

2.1	「カ」国の経済状況 .....	2 - 1
2.1.1	人口動態 .....	2 - 1
2.1.2	経 済 .....	2 - 3
2.1.3	投資動向 .....	2 - 5
2.2	電力セクターをめぐる基本政策 .....	2 - 8
2.2.1	国家開発戦略 .....	2 - 8
2.2.2	エネルギー政策 .....	2 - 8
2.2.3	電力政策 .....	2 - 8
2.3	電力セクターに関連する法令・規則・基準他 .....	2 - 10
2.3.1	電力法 .....	2 - 10
2.3.2	電力技術基準 .....	2 - 11
2.4	電力セクターの関係機関とその役割 .....	2 - 12
2.4.1	MME .....	2 - 12
2.4.2	EAC .....	2 - 13
2.4.3	EDC .....	2 - 14
2.5	電力需給状況 .....	2 - 16
2.5.1	電力需要 .....	2 - 16
2.5.2	電力開発計画 .....	2 - 20
2.6	他ドナーの支援状況 .....	2 - 24
2.6.1	世界銀行 .....	2 - 24
2.6.2	アジア開発銀行 .....	2 - 25
2.6.3	その他 .....	2 - 26
2.7	「カ」国と我が国の関係 .....	2 - 27

**第3章 本事業の必要性と妥当性**

3.1	プノンペン系統の課題と本事業の位置づけ	3 - 1
3.1.1	プノンペン系統の現状と課題	3 - 1
3.1.2	本事業の位置づけ	3 - 5
3.2	プノンペン系統の増強計画	3 - 6
3.2.1	プノンペン市および周辺地域への電力供給	3 - 6
3.2.2	計画中変電所の状況	3 - 7
3.2.3	Chroy Changvar 地区への電力供給	3 - 8
3.2.4	プノンペン地区の電力需要想定	3 - 13
3.3	プノンペン系統の系統解析	3 - 20
3.3.1	解析条件	3 - 20
3.3.2	信頼度条件	3 - 20
3.3.3	系統構成案	3 - 21
3.3.4	系統解析結果	3 - 25
3.3.5	その他の系統解析結果	3 - 31
3.4	系統課題への優先対応策	3 - 37

**第4章 現地調査の結果**

4.1	架空送電線新設ルート	4 - 1
4.2	地中送電線新設ルート	4 - 7
4.3	変電所の現地調査	4 - 15
4.4	新設配電線ルート	4 - 17
4.4.1	変電所新設候補地の状況	4 - 17
4.4.2	送電線新設ルートに伴う既設配電線への影響	4 - 20

**第5章 概略設計の対象となる整備計画の決定**

5.1	最適計画案の策定	5 - 1
5.1.1	比較対象とする代替案	5 - 1
5.1.2	代替案の比較	5 - 2

**第6章 地質調査**

6.1	地質調査概要	6 - 1
6.2	地質調査結果および基礎タイプの考察	6 - 3
6.2.1	NCC 変電所サイト	6 - 4
6.2.2	Toul Kork 変電所サイト	6 - 5
6.2.3	GS5 サイト	6 - 6
6.2.4	Chroy Changvar 変電所サイト	6 - 7
6.2.5	230kV 送電線ルート	6 - 8
6.2.6	115kV 送電線ルート	6 - 9

**第7章 環境社会配慮**

7.1 環境社会配慮	7 - 1
7.1.1 環境社会影響を与える事業コンポーネントの概要	7 - 1
7.1.2 ベースとなる環境及び社会の状況	7 - 4
7.1.3 代替案の比較検討	7 - 36
7.1.4 相手国の環境社会配慮制度・組織	7 - 46
7.1.5 スコーピング及び環境社会配慮調査の TOR	7 - 59
7.1.6 環境社会配慮調査結果	7 - 62
7.1.7 影響評価	7 - 64
7.1.8 緩和策	7 - 66
7.1.9 モニタリング計画	7 - 67
7.1.10 ステークホルダー協議	7 - 69
7.2 簡易住民移転計画	7 - 72
7.2.1 用地取得・住民移転の必要性	7 - 72
7.2.2 用地取得・住民移転にかかる法的枠組み	7 - 72
7.2.3 用地取得・住民移転の規模および範囲	7 - 77
7.2.4 補償・支援の具体策	7 - 83
7.2.5 苦情処理メカニズム	7 - 84
7.2.6 実施体制	7 - 85
7.2.7 実施スケジュール	7 - 85
7.2.8 費用と財源	7 - 87
7.2.9 モニタリング	7 - 88
7.2.10 住民協議	7 - 88

**第8章 概略設計**

8.1 架空送電設備	8 - 1
8.1.1 230kV 架空送電設備ルート概要	8 - 1
8.1.2 230kV 架空送電設備容量	8 - 4
8.1.3 230kV 架空送電設備の概略設計	8 - 4
8.1.4 230kV 概算工事工程	8 - 10
8.1.5 115kV 架空送電設備ルート概要	8 - 11
8.1.6 115kV 架空送電設備容量	8 - 14
8.1.7 115kV 架空送電設備の概略設計	8 - 14
8.1.8 115kV 概算工事工程	8 - 19
8.2 地中送電設備の設計	8 - 20
8.2.1 地中送電設備ルート概要	8 - 20
8.2.2 地中送電設備容量	8 - 23
8.2.3 地中送電設備線種、布設形態	8 - 23
8.2.4 地中送電線の埋設施工方法の検討	8 - 27
8.2.5 概算工事工程	8 - 32
8.3 変電設備	8 - 36
8.3.1 新設変電所（NCC、Toul Kork、Chroy Changvar）	8 - 36
8.3.2 既設変電所 GS3 と建設工事中 GS5 の改修	8 - 50
8.4 配電設備	8 - 59
8.4.1 配電設備の概要	8 - 59
8.4.2 配電設備および施工の基準	8 - 60

8.4.3	配電線拡張の基本的な考え方	8 - 69
8.4.4	新設配電線ルートを検討手法	8 - 72
8.4.5	概略設計	8 - 73
8.4.6	建設スケジュール	8 - 77

## 第9章 事業実施及び運営・維持管理体制の提言

9.1	EDCの財務状況	9 - 1
9.2	事業実施及び運営・維持管理体制の提言	9 - 4
9.2.1	事業実施体制、維持管理体制の現状	9 - 4
9.2.2	事業実施体制、維持管理体制の提案	9 - 5

## 第10章 本事業の評価

10.1	定量的効果	10 - 1
10.1.1	事業による便益	10 - 1
10.1.2	経済・財務分析による評価	10 - 2
10.1.3	CO <sub>2</sub> 排出量の算出	10 - 6
10.2	運用・効果指標の提案	10 - 8
10.2.1	運用・効果指標の提案	10 - 8
10.2.2	運用・効果指標の目標値	10 - 8

## 図リスト

図 2.1-1	「カ」国の都市人口割合の推移.....	2 - 2
図 2.1-2	「カ」国の男女別労働力化率.....	2 - 2
図 2.1-3	産業別国内総生産（2000年価格実質値）.....	2 - 3
図 2.1-4	「カ」国と周辺国の産業別 GDP 構成比.....	2 - 4
図 2.1-5	消費者物価指数の変化率.....	2 - 4
図 2.1-6	通貨 Riel の対 US\$ 為替レート.....	2 - 5
図 2.4-1	電力セクター関連図.....	2 - 12
図 2.4-2	MME エネルギー開発総局の組織図.....	2 - 13
図 2.4-3	EAC 組織図.....	2 - 13
図 2.4-4	EDC 供給状況.....	2 - 14
図 2.4-5	EDC 組織図.....	2 - 15
図 2.5-1	発電電力量の推移.....	2 - 16
図 2.5-2	販売電力量の推移.....	2 - 17
図 2.5-3	送配電ロスの推移.....	2 - 17
図 2.5-4	日負荷曲線の推移.....	2 - 20
図 2.5-5	2020 年における基幹送電系統と変電所.....	2 - 22
図 3.1-1	最大電力発生時の電源構成.....	3 - 3
図 3.1-2	プノンペン市内潮流図（2011 年 10 月 24 日 10 時 00 分）.....	3 - 3
図 3.1-3	プノンペン外輪系（115kV 系統）.....	3 - 4
図 3.2-1	プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業計画フェーズ 1.....	3 - 6
図 3.2-2	プノンペン市周辺の電力供給.....	3 - 7
図 3.2-3	Development Master Plan at Chroy Changvar Area.....	3 - 9
図 3.2-4	新設変電所の位置案.....	3 - 10
図 3.2-5	新設変電所への系統接続のための河川横断方法案.....	3 - 12
図 3.2-6	「カ」国全体における電力需要想定結果（Base case）.....	3 - 13
図 3.2-7	変電所別供給エリア（2014 年 3 月）.....	3 - 14
図 3.2-8	プノンペン系統における各変電所の負荷（2014 年 3 月 31 日（月））.....	3 - 15
図 3.2-9	プノンペン市内変電所と大型プロジェクト位置図.....	3 - 18
図 3.2-10	プノンペン系統における電力需要想定結果（Base case）.....	3 - 18
図 3.3-1	有効電力潮流図例（2020 年）.....	3 - 21
図 3.3-2	Alternative 1.....	3 - 22
図 3.3-3	Alternative 2.....	3 - 23
図 3.3-4	Alternative 1-A.....	3 - 24
図 3.3-5	Alternative 1-B.....	3 - 24
図 3.3-6	Alternative 2-A.....	3 - 24
図 3.3-7	Alternative 2-B.....	3 - 24

図 3.3-8	Single Line Diagram (Alternative 1-A, Loop System) .....	3 - 26
図 3.3-9	Single Line Diagram (Alternative 2-A, Loop System) .....	3 - 27
図 3.3-10	Alternative 1-A, Loop System .....	3 - 28
図 3.3-11	Alternative 2-A, Loop System .....	3 - 29
図 3.3-12	Alternative 1-A, Radial System .....	3 - 29
図 3.3-13	Alternative 2-A, Radial System .....	3 - 30
図 3.3-14	Alternative 2-B, Radial System .....	3 - 30
図 3.3-15	Alternative 2-A, Loop System (as an alternative plan).....	3 - 32
図 3.3-16	Single Line Diagram and Bus Voltage (SC: Case-1, Existing SC Only) .....	3 - 34
図 3.3-17	Single Line Diagram and Bus Voltage (SC: Case-2, Existing SC and New Installation) .....	3 - 36
図 4.1-1	OHL_Route1 のルート図.....	4 - 2
図 4.1-2	OHL_Route3 のルート図.....	4 - 3
図 4.1-3	OHL_Route6 のルート図.....	4 - 4
図 4.1-4	OHL_Route7 のルート図.....	4 - 5
図 4.1-5	OHL_Route7 の分岐コンクリート柱.....	4 - 5
図 4.1-6	OHL_Route8 のルート図.....	4 - 6
図 4.2-1	下水管理設工事の状況 .....	4 - 7
図 4.2-2	フェーズ 1 地中送電線路計画ルート .....	4 - 8
図 4.2-3	UG_Route2 平面図 (現地調査結果) .....	4 - 11
図 4.2-4	UG_Route5 平面図 (現地調査結果) .....	4 - 12
図 4.2-5	UG_Route3 平面図 (現地調査結果) .....	4 - 13
図 4.2-6	UG_Route7 平面図 (現地調査結果) .....	4 - 14
図 4.3-1	フェーズ 2 対象変電所の位置図 .....	4 - 16
図 4.4-1	NCC 周辺の様子 .....	4 - 17
図 4.4-2	NCC 周辺の配電線.....	4 - 17
図 4.4-3	Toul Kork 地区の様子.....	4 - 18
図 4.4-4	橋梁への添架.....	4 - 18
図 4.4-5	Chroy Changvar 地区の様子.....	4 - 18
図 4.4-6	REE の配電設備.....	4 - 19
図 4.4-7	既設配電線ルート .....	4 - 20
図 4.4-8	既設配電線 .....	4 - 20
図 6.1-1	変電所サイトのボーリング実施位置 (Google Earth 衛星写真) .....	6 - 1
図 6.1-2	送電線ルート上のボーリング実施位置 (Google Earth 衛星写真) .....	6 - 2
図 6.2-1	地質調査結果 (NCC 変電所サイト : S1 および S2) .....	6 - 4
図 6.2-2	地質調査結果 (Toul Kork 変電所サイト : S3 および S4) .....	6 - 5
図 6.2-3	地質調査結果 (GS5 サイト : S5 および S6、S7) .....	6 - 6
図 6.2-4	地質調査結果 (Chroy Changvar 変電所サイト : S8 および S9) .....	6 - 7
図 6.2-5	地質調査結果 (230kV 送電線ルート : T1 および T2) .....	6 - 8

図 6.2-6	地質調査結果（115kV 送電線ルート：T3 および T4、T5）	6 - 10
図 7.1-1	事業計画地位置図	7 - 1
図 7.1-2	事業実施計画図	7 - 3
図 7.1-3	調査地点位置図	7 - 8
図 7.1-4	地点 1（Tuol Kork S/S）の交通量の時間経過	7 - 9
図 7.1-5	地点 1（Tuol Kork S/S）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 10
図 7.1-6	地点 2（Chroy Changvar S/S）の交通量の時間経過	7 - 10
図 7.1-7	地点 2（Chroy Changvar S/S）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 11
図 7.1-8	地点 3（NCC S/S）の交通量の時間経過	7 - 11
図 7.1-9	地点 3（NCC S/S）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 12
図 7.1-10	地点 4（Road 2002）の交通量の時間経過	7 - 12
図 7.1-11	地点 4（Road 2002）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 13
図 7.1-12	地点 5（Russian Confederation Blvd.）の交通量の時間経過	7 - 13
図 7.1-13	地点 5（Russian Confederation Blvd.）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 14
図 7.1-14	地点 6（Hanoi Highway）の交通量の時間経過	7 - 14
図 7.1-15	地点 6（Hanoi Highway）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 15
図 7.1-16	地点 7（GS5）の交通量の時間経過	7 - 15
図 7.1-17	地点 7（GS5）の等価騒音レベルの時間経過	7 - 16
図 7.1-18	調査地点の詳細位置および状況	7 - 18
図 7.1-19	プノンペン市の気温および降水量	7 - 19
図 7.1-20	「カ」国の保護区位置図	7 - 20
図 7.1-21	「カ」国の森林図	7 - 21
図 7.1-22	「カ」国の IBAs の位置図	7 - 22
図 7.1-23	「カ」国の地質図	7 - 23
図 7.1-24	「カ」国における行政制度	7 - 24
図 7.1-25	プノンペン市の行政界	7 - 25
図 7.1-26	Kandal 州の行政界	7 - 26
図 7.1-27	「カ」国の土地利用図	7 - 27
図 7.1-28	プノンペン市のマスタープラン	7 - 28
図 7.1-29	「カ」国の民族構成	7 - 29
図 7.1-30	「カ」国の民族グループ分布図	7 - 29
図 7.1-31	少数民族分布図	7 - 30
図 7.1-32	現地調査前の仮ルートの位置図	7 - 39
図 7.1-33	230kV_Route1 の現地調査ルート図	7 - 40
図 7.1-34	230kV_Route1 の現地調査ルート写真	7 - 40
図 7.1-35	115kV_Route2 の現地調査ルート図	7 - 41
図 7.1-36	115kV_Route2 の現地調査ルート写真	7 - 41
図 7.1-37	115kV_Route3 の現地調査ルート図	7 - 42
図 7.1-38	115kV_Route3 の現地調査ルート写真	7 - 42



図 7.1-39	230kV_Route1 の経過地図	7 - 44
図 7.1-40	115kV_Route2 の経過地図	7 - 45
図 7.1-41	EIA/IEIA の承認プロセス	7 - 53
図 7.1-42	MOE の組織図	7 - 56
図 7.1-43	プノンペン市の組織図	7 - 58
図 8.1-1	230kV 架空送電線ルート図	8 - 2
図 8.1-2	230kV 架空送電線ルート断面図	8 - 3
図 8.1-3	230kV Steel Tower in the Midpoint of NPP and WPP	8 - 3
図 8.1-4	SU165BN	8 - 7
図 8.1-5	Steel Tower's Example	8 - 8
図 8.1-6	Foundation's Example	8 - 9
図 8.1-7	115kV 架空送電線ルート図	8 - 12
図 8.1-8	115kV_OHL_Route7 の拡大図	8 - 13
図 8.1-9	115kV_OHL_Route6 のルート断面図	8 - 13
図 8.1-10	Foundation's Example	8 - 18
図 8.2-1	UG_Route4 平面図	8 - 21
図 8.2-2	UG_Route5 平面図	8 - 22
図 8.2-3	230kV 単心ケーブルの最大送電容量計算結果	8 - 24
図 8.2-4	115kV 単心・トリプレックス型ケーブルの最大送電容量計算結果	8 - 25
図 8.2-5	230kV 単心ケーブルのケーブル仕様図	8 - 26
図 8.2-6	115kV トリプレックス型ケーブルのケーブル仕様図	8 - 26
図 8.2-7	管路断面図（開削方法）	8 - 29
図 8.2-8	立坑寸法の概略サイズ	8 - 29
図 8.2-9	発進基地の概略サイズ	8 - 29
図 8.2-10	管路断面図（推進工法）	8 - 30
図 8.2-11	Thermal Conduction Grout	8 - 30
図 8.2-12	230kV ジョイント・ベイ構造図・施工図	8 - 31
図 8.2-13	115kV ジョイント・ベイ構造図・施工図	8 - 32
図 8.3-1	NCC 周辺図	8 - 40
図 8.3-2	単線結線図（NCC）	8 - 41
図 8.3-3	NCC 搬入路	8 - 42
図 8.3-4	Toul Kork 変電所敷地	8 - 44
図 8.3-5	単線結線図（Toul Kork）	8 - 45
図 8.3-6	Chroy Changvar 変電所予定エリア	8 - 47
図 8.3-7	Chroy Changvar 変電所予定エリア状況	8 - 48
図 8.3-8	単線結線図（Chroy Changvar）	8 - 49
図 8.3-9	GS3 増設可能箇所状況	8 - 51
図 8.3-10	単線結線図（GS3）	8 - 52
図 8.3-11	GS5 敷地	8 - 54

図 8.3-12	GS5 の 230kV AIS 設備増設箇所候補.....	8 - 55
図 8.3-13	単線結線図 (GS5) .....	8 - 57
図 8.4-1	プノンペン市内の様子.....	8 - 59
図 8.4-2	配電線接続例.....	8 - 59
図 8.4-3	架空電線路.....	8 - 60
図 8.4-4	地中電線路 (工事中) .....	8 - 60
図 8.4-5	施工例.....	8 - 60
図 8.4-6	電柱補強の方法.....	8 - 61
図 8.4-7	施工例.....	8 - 61
図 8.4-8	柱上用開閉装置.....	8 - 64
図 8.4-9	屋内用開閉装置.....	8 - 64
図 8.4-10	標準施工.....	8 - 68
図 8.4-11	変電所新設に伴う系統切替えの手法 (イメージ) .....	8 - 70
図 8.4-12	現 状.....	8 - 71
図 8.4-13	対策工事の例.....	8 - 71
図 8.4-14	配電線ルート (NCC) .....	8 - 73
図 8.4-15	配電線ルート (Toul Kork) .....	8 - 74
図 8.4-16	配電線ルート (Chroy Changvar) .....	8 - 76
図 9.2-1	EDC の組織図.....	9 - 4
図 10.1-1	販売電力量の増加のモデル.....	10 - 1

## 表リスト

表 1.2-1	調査開始時における本事業の対象設備候補.....	1 - 4
表 1.3-1	EDC カウンターパート .....	1 - 5
表 2.1-1	州別の人口（2013 年） .....	2 - 1
表 2.1-2	「カ」国の国・地域別対内 FDI<認可ベース> .....	2 - 6
表 2.1-3	「カ」国の SEZ への対内 FDI<認可ベース> .....	2 - 6
表 2.3-1	Laws and Regulations on Power Sector Services and Use of Electricity .....	2 - 10
表 2.3-2	GREPTS 第 2 章の構成 .....	2 - 11
表 2.5-1	最大電力実績の推移 .....	2 - 18
表 2.5-2	National Grid における発電実績（2014 年 3 月 31 日（月）） .....	2 - 19
表 2.5-3	プノンペンシステムに対する発電実績（2014 年 3 月 31 日（月）） .....	2 - 19
表 2.5-4	電源開発計画 .....	2 - 21
表 2.5-5	送電設備一覧（計画分を含む） .....	2 - 22
表 2.6-1	近年の世界銀行から「カ」国電力セクターへの支援.....	2 - 24
表 2.6-2	近年の ADB から「カ」国電力セクターへの支援 .....	2 - 25
表 3.1-1	要因別の停電回数及び時間 .....	3 - 2
表 3.2-1	プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業フェーズ 1 の主な設備増強.....	3 - 6
表 3.2-2	115kV 地中送電線ルート案.....	3 - 7
表 3.2-3	新設変電所位置案の比較結果 .....	3 - 10
表 3.2-4	新設変電所への系統接続案比較結果 .....	3 - 12
表 3.2-5	プノンペンシステムにおける各変電所の負荷（2014 年 3 月 31 日（月）） .....	3 - 15
表 3.2-6	プノンペンにおける大型開発プロジェクト一覧.....	3 - 16
表 3.2-7	2020 年までの大型プロジェクトの電力需要想定結果.....	3 - 17
表 3.2-8	プノンペンシステムの各変電所における最大電力需要想定.....	3 - 19
表 3.3-1	信頼度基準 .....	3 - 20
表 3.3-2	既設 SC 設置量 .....	3 - 33
表 3.3-3	既設 SC および新設 SC 設置量.....	3 - 35
表 4.1-1	架空送電線のルートの一覧 .....	4 - 1
表 4.1-2	OHL_Route1 のルート調査結果.....	4 - 2
表 4.1-3	OHL_Route3 のルート調査結果.....	4 - 3
表 4.1-4	OHL_Route6 のルート調査結果.....	4 - 4
表 4.2-1	地中送電線の調査対象 .....	4 - 9
表 4.2-2	地中送電線路埋設計画のルート調査結果.....	4 - 10
表 4.3-1	既設変電所および新設変電所予定地 .....	4 - 15

表 5.1-1	市内周辺の基幹系統構成案.....	5 - 1
表 5.1-2	Toul Kork 新設変電所の系統接続案.....	5 - 2
表 5.1-3	送電ロスのコスト比較.....	5 - 3
表 5.1-4	市内周辺の基幹系統構成案の供給信頼度.....	5 - 4
表 5.1-5	最近の 230kV 送電線の事故実績.....	5 - 5
表 5.1-6	総合評価.....	5 - 6
表 5.1-7	総合評価.....	5 - 7
表 6.1-1	ボーリングの位置座標.....	6 - 2
表 7.1-1	事業概要.....	7 - 2
表 7.1-2	プノンペン市における大気質測定結果.....	7 - 4
表 7.1-3	メコン河における水質調査結果（2012 年 7 月）.....	7 - 5
表 7.1-4	地下水の水質調査結果（2012 年 7 月）.....	7 - 6
表 7.1-5	交通量および騒音調査地点.....	7 - 7
表 7.1-6	車両のタイプ分け.....	7 - 8
表 7.1-7	各地点の最大交通量.....	7 - 16
表 7.1-8	各地点の等価騒音レベル.....	7 - 16
表 7.1-9	プノンペン市内の湿地.....	7 - 21
表 7.1-10	プノンペン市および Kandal 州の人口推移.....	7 - 28
表 7.1-11	「カ」国における先住民族および少数民族グループ.....	7 - 30
表 7.1-12	プノンペン市および Kandal 州の観光資源.....	7 - 31
表 7.1-13	変電所計画地の概況.....	7 - 32
表 7.1-14	架空送電線計画ルート of 概況.....	7 - 33
表 7.1-15	地中送電線計画ルート of 概況.....	7 - 33
表 7.1-16	整備計画の代替案比較表.....	7 - 38
表 7.1-17	環境社会配慮に関する法令.....	7 - 47
表 7.1-18	大気質環境基準.....	7 - 48
表 7.1-19	有害物質の環境基準.....	7 - 49
表 7.1-20	公共地域・住宅地における環境基準.....	7 - 50
表 7.1-21	水質基準.....	7 - 50
表 7.1-22	MPWT が管理する ROW.....	7 - 51
表 7.1-23	電力事業に関する IEIA/EIA の対象事業.....	7 - 52
表 7.1-24	スコーピング案.....	7 - 59
表 7.1-25	TOR.....	7 - 61
表 7.1-26	調査結果概要.....	7 - 62
表 7.1-27	影響評価.....	7 - 64
表 7.1-28	緩和策.....	7 - 66
表 7.1-29	環境管理体制.....	7 - 67
表 7.1-30	環境モニタリング計画.....	7 - 68

表 7.2-1	用地取得・住民移転に関する法令 .....	7 - 73
表 7.2-2	「カ」国の法制度と JICA ガイドラインとの比較 .....	7 - 76
表 7.2-3	必要な鉄塔敷地面積 (230kV) .....	7 - 77
表 7.2-4	必要な鉄塔敷地面積 (115kV) .....	7 - 78
表 7.2-5	被影響村 .....	7 - 78
表 7.2-6	被影響ユニット数 (鉄塔およびコンクリート柱用地) .....	7 - 79
表 7.2-7	被影響ユニットおよび住民数 .....	7 - 79
表 7.2-8	架空送電線および変電所整備にかかる用地取得面積 .....	7 - 80
表 7.2-9	利用制限による補償対象の土地面積 .....	7 - 80
表 7.2-10	ROW 内で確認された建物 .....	7 - 81
表 7.2-11	補償の対象となる樹木 .....	7 - 81
表 7.2-12	被補償世帯の特徴 .....	7 - 83
表 7.2-13	補償方針 .....	7 - 83
表 7.2-14	実施スケジュール .....	7 - 86
表 7.2-15	土地の補償単価 .....	7 - 87
表 7.2-16	建物の補償単価 .....	7 - 87
表 7.2-17	樹木の補償単価 .....	7 - 87
表 7.2-18	住民協議の実施状況 .....	7 - 88
表 7.2-19	協議内容 .....	7 - 89
表 8.1-1	230kV 架空送電線の設備概要 .....	8 - 1
表 8.1-2	EDC で使用されている電線 (送電容量) および架空地線 .....	8 - 4
表 8.1-3	Basic Climatic Conditions .....	8 - 5
表 8.1-4	Technical Characteristics of Conductor (230kV) .....	8 - 5
表 8.1-5	Technical Characteristics of Ground Wires (230kV) .....	8 - 6
表 8.1-6	Minimum Height of Conductor above Ground (230kV) .....	8 - 6
表 8.1-7	Maximum Working Tension and EDS (Max Span Length = 500m) .....	8 - 7
表 8.1-8	Sag of Conductor (at 150°C with no wind) .....	8 - 7
表 8.1-9	Insulator Size .....	8 - 8
表 8.1-10	基本的な鉄塔型について .....	8 - 8
表 8.1-11	Foundation Type and Application .....	8 - 9
表 8.1-12	230kV Rough Construction Process .....	8 - 10
表 8.1-13	115kV 架空送電線の設備概要 .....	8 - 11
表 8.1-14	EDC で現在使用している 115kV 電線のサイズと送電設備容量 .....	8 - 14
表 8.1-15	Technical Characteristics of Conductors (115kV) .....	8 - 15
表 8.1-16	Technical Characteristics of Ground-wires (115kV) .....	8 - 15
表 8.1-17	Minimum Height of Conductor above Ground (115kV) .....	8 - 16
表 8.1-18	Maximum Working Tension and EDS (Max Span Length = 600m) .....	8 - 16
表 8.1-19	Sag of conductor (at 90°C with no wind) .....	8 - 17
表 8.1-20	Insulator Size .....	8 - 17

表 8.1-21	Foundation Type and application .....	8 - 18
表 8.1-22	Rough Construction Process of 115kV Transmission Line .....	8 - 19
表 8.2-1	230kV/115kV 地中送電線ルート案の一覧 .....	8 - 20
表 8.2-2	ケーブルの計算条件.....	8 - 24
表 8.2-3	230kV 管路方式による施工費・工期の比較 .....	8 - 28
表 8.2-4	各物質の g 値.....	8 - 30
表 8.2-5	ジョイント・ベイ概略内空寸法.....	8 - 31
表 8.2-6	地中送電設備の概略工事工程 1.....	8 - 33
表 8.2-7	地中送電設備の概略工事工程 2.....	8 - 34
表 8.2-8	地中送電設備の概略工事工程 3.....	8 - 35
表 8.3-1	GIS と AIS の比較.....	8 - 36
表 8.3-2	連系変圧器基本仕様 (NCC) .....	8 - 38
表 8.3-3	配電用変圧器基本仕様.....	8 - 38
表 8.3-4	230kV 開閉器ほか (NCC) .....	8 - 38
表 8.3-5	115kV 開閉器ほか.....	8 - 39
表 8.3-6	22kV 開閉器ほか.....	8 - 39
表 8.3-7	115kV 並列コンデンサ .....	8 - 39
表 8.3-8	設備規模 (NCC) .....	8 - 41
表 8.3-9	建設スケジュール (NCC) .....	8 - 43
表 8.3-10	設備規模 (Toul Kork) .....	8 - 45
表 8.3-11	建設スケジュール (Toul Kork) .....	8 - 46
表 8.3-12	設備規模 (Chroy Changvar) .....	8 - 48
表 8.3-13	建設スケジュール (Chroy Changvar) .....	8 - 50
表 8.3-14	115kV 開閉器, 並列コンデンサほか.....	8 - 51
表 8.3-15	増設工事規模.....	8 - 52
表 8.3-16	建設スケジュール (GS3) .....	8 - 53
表 8.3-17	連系変圧器.....	8 - 56
表 8.3-18	230kV 開閉器ほか.....	8 - 56
表 8.3-19	115kV 並列コンデンサ .....	8 - 56
表 8.3-20	115kV 開閉器ほか.....	8 - 56
表 8.3-21	増設規模.....	8 - 57
表 8.3-22	建設スケジュール (GS5) .....	8 - 58
表 8.4-1	配電線路の電圧.....	8 - 60
表 8.4-2	電柱の基準.....	8 - 61
表 8.4-3	22kV 架空裸電線.....	8 - 62
表 8.4-4	22kV 架空絶縁電線.....	8 - 62
表 8.4-5	22kV 架空ケーブル.....	8 - 62
表 8.4-6	22kV 地中ケーブル.....	8 - 63
表 8.4-7	電柱用開閉装置.....	8 - 63
表 8.4-8	屋内用開閉装置およびケーブル終端.....	8 - 64

表 8.4-9	電線の地上高 .....	8 - 65
表 8.4-10	架空電線と他の構造物との離隔 .....	8 - 66
表 8.4-11	架空電線と他の電線との離隔 .....	8 - 67
表 8.4-12	埋設深さ .....	8 - 68
表 8.4-13	他の電線との離隔 .....	8 - 68
表 8.4-14	他の埋設物との離隔 .....	8 - 69
表 8.4-15	NCC 変電所の接続候補箇所 .....	8 - 73
表 8.4-16	Toul Kork 変電所の接続候補箇所 .....	8 - 74
表 8.4-17	Chroy Changvar 変電所の接続候補箇所 .....	8 - 75
表 8.4-18	建設スケジュール .....	8 - 77
表 9.1-1	EDC 貸借対照表 .....	9 - 1
表 9.1-2	EDC 損益計算書 .....	9 - 2
表 9.1-3	EDC キャッシュフロー表 .....	9 - 3
表 10.1-1	本事業による販売電力量の増分 .....	10 - 2
表 10.1-2	FIRR の感度分析 .....	10 - 4
表 10.1-3	EIRR の感度分析 .....	10 - 6
表 10.1-4	本事業による CO <sub>2</sub> 排出削減効果 (2020 年時点) .....	10 - 7
表 10.2-1	提案する運用・評価指標 .....	10 - 8
表 10.2-2	運用・評価指標の目標値 .....	10 - 9

## 写真リスト

写真 7.1-1	変電所計画地周辺の状況 .....	7 - 34
写真 7.1-2	230kV 架空送電線 計画ルート周辺の状況 .....	7 - 35
写真 7.1-3	115kV 架空送電線計画ルート周辺の状況 .....	7 - 36
写真 7.1-4	第 1 回ステークホルダー協議の様子 .....	7 - 69
写真 7.1-5	第 2 回ステークホルダー協議の様子 .....	7 - 70
写真 7.2-1	住民協議の様子 .....	7 - 90

## 略語表

略語	英語	日本語
AAC	All Aluminum Conductor	全アルミより線
AC	Aluminum Clad steel wire	アルミ覆鋼より線
ACSR	Aluminum Conductor Steel Reinforced	鋼心アルミより線
ACSR/AC	Aluminum Conductor Aluminum Clad Steel Reinforced	アルミ覆鋼心アルミより線
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AIMS	The ASEAN Interconnection Master Plan Study	アセアン国際連系線マスタープラン
AIS	Air Insulated Switchgear	気中絶縁開閉装置
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation Conference	アジア太平洋経済協力
APG	ASEAN Power Grid	アセアン国際連系線
ASEAN	Association of South - East Asian Nations	東南アジア諸国連合
BOO	Build, Own and Operate	建設・所有・運営
BOT	Build, Operate and Transfer	建設・運営・譲渡
BT	Build and Transfer	建設－譲渡
CDC	The Council for the Development of Cambodia	カンボジア開発評議会
CIA	Central Intelligence Agency	中央情報局
COD	Commercial Operation Date	営業運開日
CPI	Consumer Price Index	消費者物価指数
CPP	Cambodian People's Party	カンボジア人民党
DCC	Design and Construct Contractor	工事請負業者
DEIA	Department of Environmental Impact Assessment	環境影響評価局
DLMUPC	Department of Land Management, Urban Planning and Construction	都市管理計画建設局
DMS	Detailed Measurement Survey	詳細資産調査
DOE	Department of Environment	環境局
DPWT	Department of Public Works and Transport	公共事業運輸局
DS	Disconnecting Switch	断路器
DSCR	Debt Service Coverage Ratio	元利金返済カバー率
DWQS	Drinking Water Quality Standards	飲料水水質基準
EAC	Electricity Authority of Cambodia	カンボジア電力庁
EDC	Electricité du Cambodge	カンボジア電力公社
EDS	Every Day Stress	常時張力
EEZ	Exclusive Economic Zone	排他的経済水域
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EMO	Environmental Monitoring Organization	環境モニタリング機関
EMP	Environmental Management Plan	環境管理計画
EPC	Engineering, Procurement and Construction	一括請負契約
EPP	East Phnom Penh Substation	East Phnom Penh 変電所
EVN	Electricity of Vietnam	ベトナム電力公社
F/S	Feasibility Study	実施可能性調査
FDI	Foreign Direct Investment	直接投資
FDIC	International Federation of Consulting Engineers	国際コンサルティング・エンジニア連盟
FIRR	Financial Internal Rate of Return	財務的内部収益率
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
GIS	Gas Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置



略語	英 語	日本語
GMS	The Greater Mekong Sub-region	大メコン圏地域
GREPTS	General Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia	カンボジア電力設備技術基準（総則）
GS	Grid Substation	基幹変電所
GSW	Galvanized stranded Steel Wire	亜鉛鍍金鋼より線
HV	High Voltage	高圧
IAEA	International Atomic Energy Agency	国際原子力機関
ICEA	Insulated Cable Engineers Association	絶縁ケーブル技術者協会
ICEM	International Center for Environmental Management	国際環境管理センター
IDC	Interest During Construction	返済開始前累積金利
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IEIA	Initial Environmental Impact Assessment	初期環境影響評価
IFAD	International Fund of Agricultural Development	国際農業開発基金
IGES	Institute for, Global Environmental Strategies	公益財団法人 地球環境戦略研究機関
ILO	International Labour Organization	国際労働機関
IPCC	International Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業者
IRC	Inter-ministerial Resettlement Committee	省庁間住民移転委員会
IRR	Internal Rate of Return	内部収益率
ITTO	International Tropical Timber Organization	国際熱帯木材機関
ITU	International Telecommunication Union	国際電気通信連
IWGIA	International Work Group for Indigenous Affairs	国際先住民族ワークグループ
JEPIC	Japan Electric Power Information Center, Inc.	海外電力調査会
JETRO	Japan External Trade Organization	独立行政法人日本貿易振興機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
L/A	Loan Agreement	借款契約
LBS	Load Break Switch	負荷開閉器
MEF	Ministry of Economy & Finance	経済財務省
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry	経済産業省
MH	Manhole	マンホール
MIME	Ministry of Industry, Mines and Energy	鉱工業エネルギー省
MLMUPC	Ministry of Land Management, Urban Planning and Construction	都市管理計画建設省
MME	Ministry of Mines and Energy	鉱業エネルギー省
MOC	Ministry of Commerce	商業賞
MOE	Ministry of Environment	環境省
MOI	Ministry of Interior	内務省
MPWT	Ministry of Public Works and Transport	公共事業運輸省
MV	Medium Voltage	中圧
MW	10 <sup>6</sup> W, Mega Watt	メガワット
MWT	Maximum Working Tension	最大使用張力
NBC	National Bank of Cambodia	カンボジア中央銀行
NCC	National Control Center	中央給電所
NGO	Non-Governmental Organizations	非政府組織
NOx	Nitrogen Oxide	窒素酸化物
NPP	North Phnom Penh Substation	North Phnom Penh 変電所
NPV	Net Present Value	割引現在価値
O&M	Operation and Maintenance	運転保守
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助

略語	英 語	日本語
OHL	Over Head Line Transmission Facilities	架空送電線設備
OPGW	Optical Fiber Ground Wire	光ファイバ複合架空地線
PCM	Public Consultation Meeting	住民協議
PEC	Private Electricity Company	民間電気事業社
PEO	Provincial Environment Office	州環境事務所
PEU	Public Electricity Utilities	公益電力会社
PFP	Fiber Reinforced Plastics	繊維強化プラスチック
PIC	Project Implementation Consultant	事業実施コンサルタント
PKO	United Nations Peacekeeping Operations	国際連合平和維持活動
PMO	Project Management Office	事業管理事務所
PPA	Power Purchase Agreement	電力購入契約
PPP	Public-Private Partnership	官民パートナーシップ
PRSC	Provincial Sub-Committee	州小委員会
RAP	Resettlement Action Plan	住民移転計画
RD	Resettlement Department	住民移転課
REE	Rural Electricity Enterprise	地方電気事業者
SC	Shunt Capacitor	並列コンデンサ
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	電力系統監視制御システム
SCF	Standard Conversion Factor	標準変換係数
SEZ	Special Economic Zone	経済特別区
SMP	Safety Management Plan	安全管理計画
SNC	Supreme National Council of Cambodia	カンボジア最高国民評議会
SOx	Sulfur Oxide	硫黄酸化物
SPC	Special Purpose Company	特別目的会社
SPDRE	Strategy and Plan for Development of Rural Electrification in the Kingdom of Cambodia	地方電化促進のための戦略および計画
SPP	South Phnom Penh Substation	South Phnom Penh 変電所
SREPTS	Specific Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia	カンボジア電力設備技術基準（細則）
T/L	Transmission Line	送電線
TACSR	Thermal-resistant Aluminum alloy Conductor Steel Reinforced	鋼心耐熱アルミ合金より線
TC	Thermal Conduction	熱伝導
TOR	Terms of Reference	入札案件文書
UG	Underground Transmission Facilities	地中送電設備
UN	United Nations	国際連合
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development	国際連合貿易開発会議
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization	国連工業開発機関
UNTAC	United Nations Transitional Authority in Cambodia	国際連合カンボジア暫定統治機構
USAID	United States Agency for International Development	アメリカ合衆国国際開発庁
UTS	Ultimate Strength Tensile	最大抗張力
VAT	Value Added Tax	付加価値税
WB	World Bank	世界銀行
WFP	World Food Programme	国際連合世界食糧計画
WHO	World Health Organization	世界保健機関
WPP	West Phnom Penh Substation	West Phnom Penh 変電所
WTO	World Trade Organization	世界貿易機関
XLPE	Cross-Linked Polyethylene	架橋ポリエチレン

# 第 1 章 序 章

## 第1章 序章

### 1.1 本調査の背景

「カ」国経済は、近年、縫製業、観光業、農業に牽引され安定した成長を続けている。2013年は7.2%の国内総生産（GDP：Gross Domestic Product）成長率を達成しており、今後も堅調な成長が見込まれている。経済成長に伴い電力需要も急速に拡大しており、2003年から2013年までの販売電力量は年平均19.8%拡大している。かかる状況下、電力セクターにおける設備拡充は喫緊の課題であり、「電力開発」は、「カ」国政府の掲げる「第三次四辺形戦略」（Rectangular Strategy - Phase III）において、四本柱の一つである「インフラの開発」に含まれる重点分野としても位置付けられている。

とりわけプノンペンには、人口約168万人<sup>1</sup>を抱え、国内電力需要のうち約7割を消費している経済・社会の中心地であり、同地区の電力の安定供給は、現行の“National Strategic Development Plan (2014-2018)”において最優先課題の一つとして提言されている。また、カンボジア電力公社（Electricité du Cambodge：EDC）は、全国の電力系統の中で、プノンペン系統を最優先として整備していく方針である。プノンペンでは、現在、送電・変電・配電設備の容量の限界や系統制御システムの未整備から、停電発生時に停電エリアが大きくなり、また、復旧に長時間を要する状況にある。この状況を改善するためには、送電・変電・配電に係る設備の増強が不可欠であり、早急な取り組みが必要である。

このような状況を踏まえ、独立行政法人国際協力機構（JICA：Japan International Cooperation Agency）は2012年11月から2013年11月まで「プノンペン送配電網整備事業準備調査」を実施し、送電・変電・配電容量拡大のため、オリンピックスタジアム及びEDC本社への115/22kV変電所の新設、GS<sup>2</sup><sub>1</sub>及びGS<sub>3</sub>の改修、115kV地中送電線の整備、22kV地中配電線整備の検討を行った。同調査に基づき、2014年7月10日に円借款事業として「プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業」の円借款貸付契約が調印された。

一方、同調査によると、同事業の実施以降も、プノンペン首都圏の電力需要は拡大する見込みであることから、さらなる送電・変電・配電設備の整備が必要とされている。本業務は急増するプノンペン首都圏の電力需要に対し、新規に送電・変電・配電設備を整備し、これにより産業基盤整備に資する電力の安定供給を目指すものである。

1 NIS - General Population Census 2013

2 基幹変電所（GS：Grid Substation）

我が国の「対カンボジア王国国別援助方針（2012年）」において、「経済インフラの整備」は重点分野として位置付けられており、「海外からの民間投資促進のため重要な要素である安定的な電力供給システム（中略）の支援に優先的に取り組む」としている。

JICAは、「カ」国電力セクターに対し、これまで「メコン地域電力ネットワーク整備事業（カンボジア成長回廊）」（有償資金協力）（2007年3月借款契約（L/A：Loan Agreement）調印）により送電線の建設を支援し、またEDC送変電部の運営能力向上を支援するため「送変電システム運営能力強化プロジェクト」を2013年2月から2015年11月までの予定で実施しており、送変電設備の整備を中心とした協力を行っている。

## 1.2 本調査の目的と活動内容

### 1.2.1 本調査の目的

プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業について、実施可能性調査（F/S：Feasibility Study）を実施し、当該事業の必要性、概要、概略設計、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、有償資金協力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を目的とする。

### 1.2.2 対象地域

プノンペン首都圏

### 1.2.3 調査業務の内容

調査は、2014年1月23日にEDCとJICAの間で締結されたMinutes of Discussionに基づき実施する。主たる調査項目は、以下の通りである。

#### (1) 「カ」国電力セクターの現状調査（レビュー）

- 「カ」国国家開発計画及び電力事業に関する政策の確認
- 「カ」国、特にプノンペン首都圏における電力需要現況調査
- 「カ」国における電力需給現状、特にプノンペン首都圏における送電網の詳細分析
- EDCの財務状況の評価
- EDCに対する他ドナーの協力状況の確認
- Chroy ChangvarやCAMKOシティのようなプノンペン首都圏における大規模開発計画の確認

## (2) プノンペン首都圏における送電、変電、配電設備増強計画のレビュー

- 既往調査 [“Feasibility Study of New Underground Cable in Phnom Penh” (2008年)、「カンボジア国電力セクター基礎情報収集・確認調査」(2012年3月、JICA)及び「プノンペン首都圏送配電網整備事業準備調査」(2013年11月、JICA)]をレビューし、事業スコープと予備設計の見直し(本邦技術の適用可能性調査も含む)
- 将来の需要予測

## (3) プノンペン首都圏における既設送・変・配電設備の現状調査

- 既設 230kV/115kV 送電線、115kV/22kV 変電所、22kV 配電線の設計及び仕様の確認
- 将来の需要予測を考慮した潮流解析の実施
- プノンペン首都圏における送配電網のボトルネックの確認
- 上記対応策についての優先度確認

## (4) 環境社会配慮

- 土地問題を含む環境社会配慮にかかる法及び制度規制の確認
- JICA 環境社会配慮ガイドライン(2010年4月)を遵守した調査の実施
- 初期環境影響評価(IEIA: Initial Environmental Impact Assessment)、環境影響評価(EIA: Environmental Impact Assessment)及び土地問題を含む必要な許認可取得のためのEDC支援のための調査の実施

## (5) 実施可能性調査

- プロジェクト実施のための制度・組織の確認
- 上述の代替案の評価
- 概略設計
- 基本設計のために必要な地質・地形調査の実施
- 計画及び関連設備の基本設計実施
- 実施工程の策定
- プロジェクトコスト積算
- 経済的内部収益率(EIRR: Economic Internal Rate of Return)、財務的収益率(FIRR: Financial Internal Rate of Return)、資本投資回収率及び無理のない転貸ローン率算出による経済財務分析
- プロジェクトリスクの分析
- プロジェクトの有無比較による温室効果ガス(GHG: Greenhouse Gas)削減効果の算定

- プロジェクトのアウトプット評価のための適切な指標の推奨

(6) 運営・維持管理体制の確認

- 送配電網にかかる運営・管理体制の確認
- EDC の技術及び財務能力の確認
- プロジェクトアウトプット強化のための適切な運営、管理、維持システムの提案
- 送配電網の運営維持管理に必要な技術支援ニーズの確認

(7) 準備調査期間中のワークショップ開催及び報告書への反映

1.2.4 本事業のスコープ

本調査開始時における本事業の対象設備候補を以下に示す。

表 1.2-1 調査開始時における本事業の対象設備候補

	Alternative 1	Alternative 2
送電線	230kV NPP*1/WPP*2 ~ NCC*3 S/S*4 架空[OHL_Route1] / 地中[UG_Route2]・2回線	230kV NPP/WPP ~ GS5 架空[OHL_Route3]・2回線
	—	230kV GS5 ~ NCC S/S 地中[UG_Route4]・1回線
	115kV NCC S/S ~ GS3	地中、2回線 [UG_Route5]
	115kV GS5 ~ Chroy Changvar	架空、2回線 [OHL_Route6]
	115kV GS5/GS1 ~ Toul Kork	架空、2回線 [OHL_Route7]**
変電所	230/115/22kV NCC S/S, GIS*5	Grid Substation
	115/22kV Toul Kork, GIS	Grid Substation
	115/22kV Chroy Changvar AIS*6	Grid Substation
	-	GS5 増設 230/115/22kV AIS
22kV 地中／架空配電線		

- \*1 NPP : North Phnom Penh Substation (North Phnom Penh 変電所)
- \*2 WPP : West Phnom Penh Substation (West Phnom Penh 変電所)
- \*3 NCC : National Control Center (中央給電所)
- \*4 S/S : Substation (変電所)
- \*5 GIS : Gas Insulated Switchgear (ガス絶縁開閉装置)
- \*6 AIS : Air Insulated Switchgear (気中絶縁開閉装置)

出典：JICA 調査団作成

\*\* OHL\_Route7 の代替案として以下がある。

OHL\_Route8 : 115kV Toul Kork ~ GS5、1 回線

UG\_Route9 : 115kV Toul Kork ~ NCC S/S、1 回線

### 1.3 実施体制

#### 1.3.1 EDC 側のカウンターパート

EDC は、本準備調査の実施のため、以下のメンバーをカウンターパートとして任命した。

表 1.3-1 EDC カウンターパート

氏名	役職
<b>Overall Management</b>	
Dr. Praing Chulasa	Deputy Managing Director, Planning & Techniques
Mr. Chun Piseth	Director of Corporate Planning and Projects Department (DCPP)
Mr. Nou Sokhon	Director of Transmission Department (DT)
<b>Coordinator</b>	
Ms. Ngin Kanida	Deputy Head of Planning, Management Information System and Tariff Office, DCPP
Mr. Sorn Phearun	Deputy Chief of Project Studies Division, DCPP
<b>Development Planning Team</b>	
Mr. Rann Seihakkiry	Deputy Director of DCPP
Mr. Hang Touch	Head Office, Department of Business & Distribution(DBD)
Mr. Hang Ouk Chetra	Chief of Distributive Technical Office, DBD
Mr. Thack Sovannreasy	Head of GIS Office, DCPP
Mr. Thouk Mony	Deputy Chief of Transmission Department (DT)
Mr. Lors Puthy	Deputy Office, DT
Mr. Som Chansopeak	Deputy Head of GIS Office, DCPP
Mr. Touch La	Chief of Project Studies Division, DCPP
Mr. Try Soban	Deputy Chief of Division, DT
Mr. Muong Vadhna	Staff, DT
<b>Facilities Design Team</b>	
Mr. Plong Titia Phalkum	Deputy Director of DT
Mr. Or Vaddhana	Chief of Distribution Control Center, DBD
Mr. Chea Saem Chantara	Head Office, DCPP
Mr. Khy Sokhan	Head Office, DT
Mr. Hem Ratana	Deputy Head of SCADA, DT
Mr. Prum Chan Nareth	Chief of Substation Section, DCPP
Mr. Chon Virak	Deputy Chief of Transmission System Section, DCPP
Mr. Heng Socheat	Staff, Telecommunication/SCADA, DT
<b>Environment</b>	
Mr. Mao Visal	Head Of Environment Office, DCPP
Mr. Heav Chanvisal	Deputy Head of Environment Office, DCPP

出典：JICA 調査団作成



### 1.3.2 JICA 調査団

本調査は、下記調査団メンバー（JICA 調査団）により実施された。

氏名	担当業務	所属先
田中 愁佳夫	総括／系統計画	ニュージェック
篠原 純也	副総括／電力需要予測	中国電力
内田 貢市	系統解析	ニュージェック
林 真由	電力土木	ニュージェック
松本 俊輔	送電設備 1（架空線）	中国電力
八木 建一郎	送電設備 2（地中線）	ニュージェック
岡田 譲	変電設備	中国電力
田中 忍	配電設備	中国電力
大石 善子	環境社会配慮	ニュージェック
西田 雅	経済財務分析	ニュージェック
羽賀 美樹	業務調整	ニュージェック

## 第2章 カンボジア電力セクター

## 第2章 カンボジア電力セクター

### 2.1 「カ」国の経済状況

#### 2.1.1 人口動態

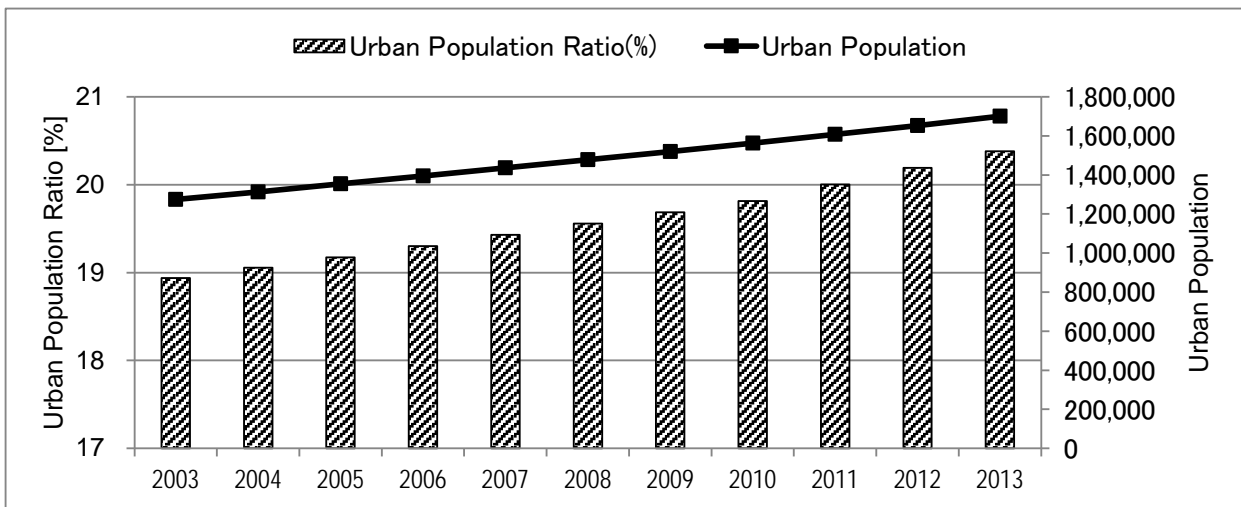
2013年の中間年人口調査（Cambodia Inter-censal Population Survey, 2013）によると、2013年の「カ」国人口は1,467万人であり、2008年以降の増加率は、平均1.83%/年となっている。州別の人口を表2.1-1に示す。本事業の対象となるプノンペン特別市とそれを囲むKandal州の合計で19.1%を占めているが、国勢調査以降も人口の都市集中は続いているため、現状では20%を超える状況にあると考えられる。

表 2.1-1 州別の人口(2013年)

	Province (州)	人口	比率		Province (州)	人口	比率
1	Banteay Meanchey	729,569	5.0%	14	Prey Veng	1,156,739	7.9%
2	Battambang	1,121,019	7.6%	15	Pursat	435,596	3.0%
3	Kampong Cham	1,757,223	12.0%	16	Ratanak Kiri	183,699	1.3%
4	Kampong Chhnang	523,202	3.6%	17	Siem Reap	922,982	6.3%
5	Kampong Speu	755,465	5.1%	18	Preah Sihanouk	250,180	1.7%
6	Kampong Thom	690,414	4.7%	19	Stung Treng	122,791	0.8%
7	Kampot	611,557	4.2%	20	Svay Rieng	578,380	3.9%
8	Kandal	1,115,965	7.6%	21	Takeo	923,373	6.3%
9	Koh Kong	122,263	0.8%	22	Otdar Meanchey	231,390	1.6%
10	Kratie	344,195	2.3%	23	Kep	38,701	0.3%
11	Mondul Kiri	72,680	0.5%	24	Pailin	65,795	0.4%
12	Phnom Penh	1,688,044	11.5%		<b>Total</b>	<b>14,676,591</b>	
13	Preah Vihear	235,370	1.6%				

出典：NIS - Cambodia Inter-censal Population Survey 2013

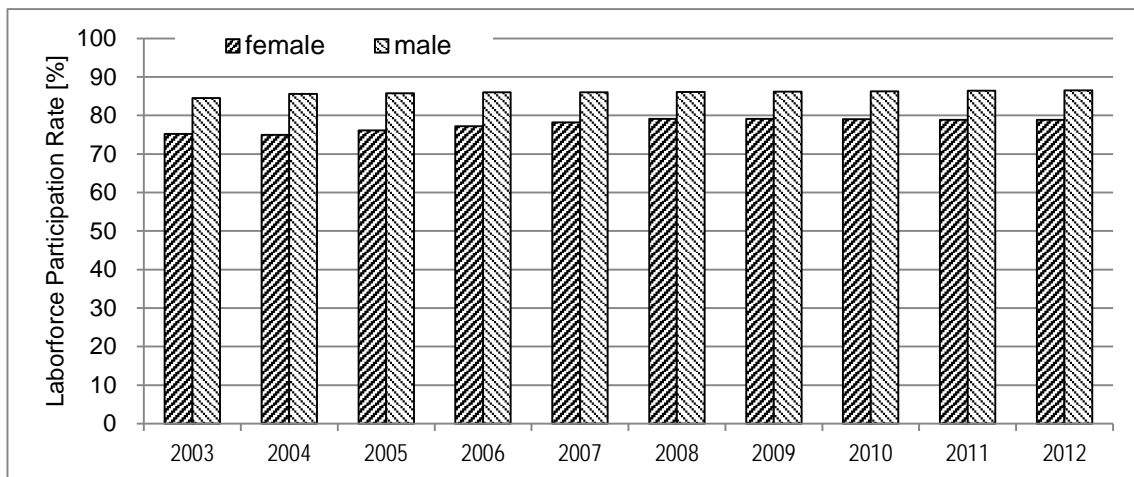
都市人口の割合は、以下の図に示すとおり年々増加傾向にある。



出典：世界銀行 World Development Indicators

図 2.1-1 「カ」国の都市人口割合の推移

2012年時点の労働力人口は843万人と、全人口の57%を占める。うち、労働力化率は次図のようになっており、男女ともに高いレベルにある。



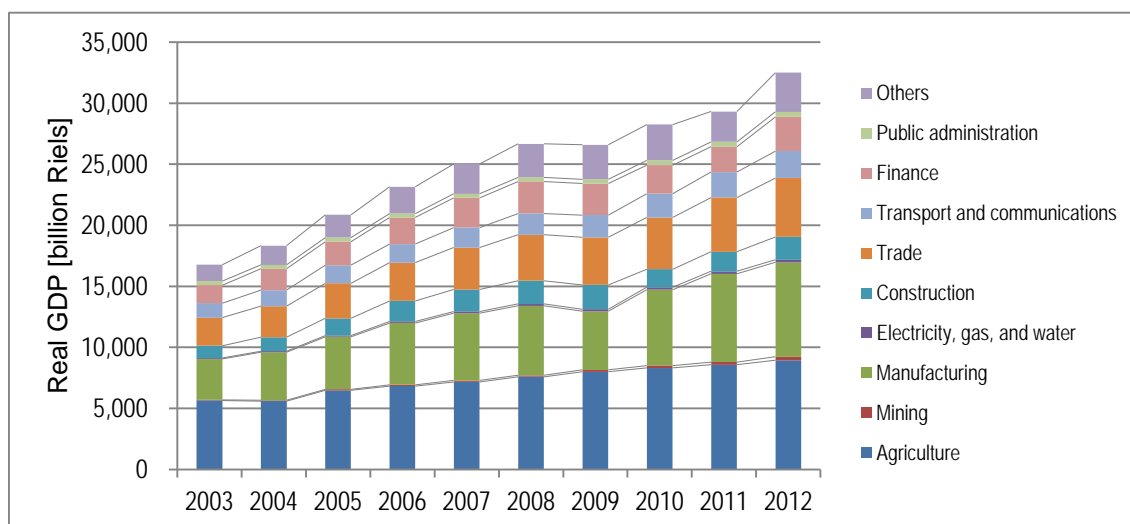
出典：世界銀行 World Development Indicators

図 2.1-2 「カ」国の男女別労働力化率

また、失業率は2012年の国際労働機関（ILO：International Labour Organization）推計値で1.5%とされている。

### 2.1.2 経 済

2013年の国内総生産（GDP：Gross Domestic Product）はUS\$15,250 million、国民一人あたり約US\$1,000である。近年の産業別生産高の推移を下図に示す。（2000年価格実質値、Riel）

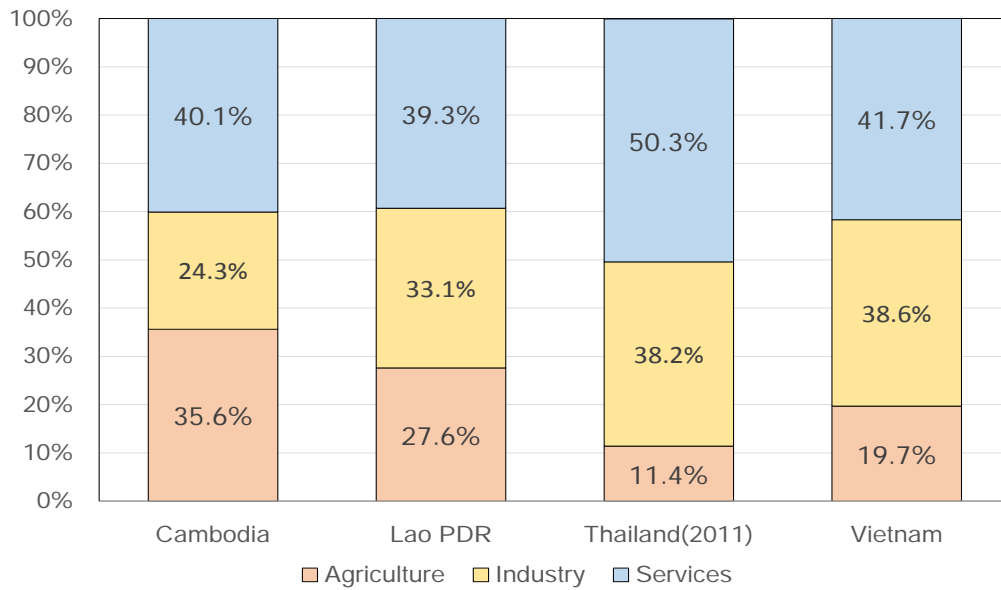


出典：Asian Development Bank (ADB), Key Indicators for Asia and the Pacific 2013

図 2.1-3 産業別国内総生産(2000年価格実質値)

2004年から2007年の4年間、10%を超える高い経済成長を持続したが、世界的な経済危機の影響を受け、2009年の経済成長率は0.1%にまで落ち込んだ。しかし翌年には回復し、今後も年7%前後の安定した成長が見込まれている。成長の要因は、衣類・製靴等を中心とした製造業、卸売・小売りのほか観光業などを含むサービス業、建設業等のセクターの成長が顕著であることである。一方、労働人口の約50%が就業する農業においては、4-5%程度の率ではあるが、着実な成長を遂げている。

また、2012年における「カ」国と周辺国の産業別GDP構成比を図2.1-4に示す。

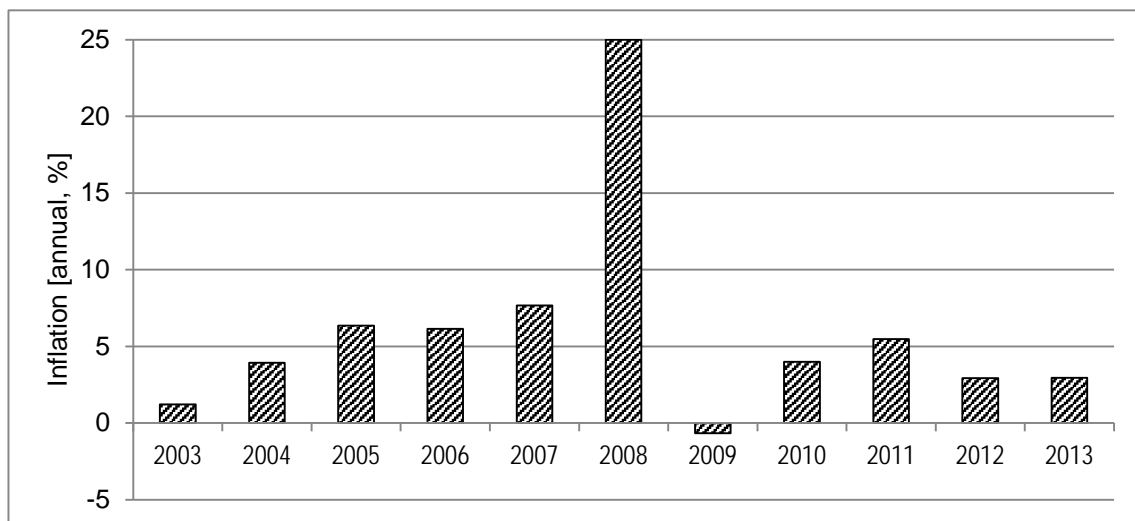


出典：ADB Key Indicators for Asia and the Pacific 2013

図 2.1-4 「カ」国と周辺国の産業別 GDP 構成比

「カ」国の産業構造を周辺国と比較すると、2013年度の統計でもラオスと同様にいまだ工業化の初期段階にあることがわかる。

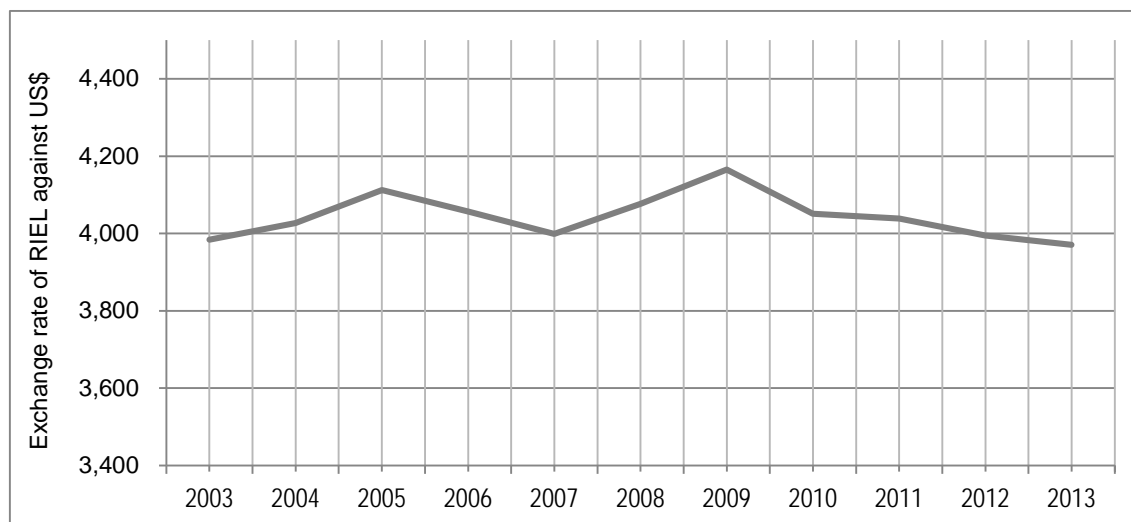
次図に、消費者物価指数（CPI：Consumer Price Index）の各年の変化率を示す。2008年、2009年は世界金融危機の影響で極端な動きを示したが、他の年度は3-6%前後の値となっている。



出典：世界銀行 World Development Indicators

図 2.1-5 消費者物価指数の変化率

「カ」国の通貨 Riel は、カンボジア中央銀行（NBC：National Bank of Cambodia）が対 US\$ レートを安定的にするように管理されているとされる。2009 年、10 年には為替市場への介入が実施されたが、その後は Riel が安定したため、介入は実施されていない<sup>1</sup>。近年の実績（各年末値）を以下の図に示す。



出典：世界銀行 World Development Indicators

図 2.1-6 通貨 Riel の対 US\$ 為替レート

### 2.1.3 投資動向

「カ」国は近年、実質 GDP 成長率 6% 以上の高い成長を続けているが、その要因としては、縫製品産業を中心とする製造業の伸びと、それを支える海外からの直接投資（FDI：Foreign Direct Investment）が挙げられる。先行する東南アジア諸国連合（ASEAN：Association of South-East Asian Nations）諸国と同様、安価な労働力をアドバンテージとして、外資系企業を誘致して単純労働集約的な産業を育成する成長戦略である。

そのため、内外法人の差別のない投資法を整備し、経済特区（SEZ：Special Economic Zone）の開発に力を入れるなどの政策をとっている。SEZ は、プノンペン近郊のほかタイ・ベトナムとの国境地帯、タイランド湾を望む港湾地区に多く、2013 年時点で 25 ヶ所が整備されている。

海外からの投資の状況は表 2.1-2 のようになっている。他国からの投資と比較し、日本は投資件数は少ないものの、金額ベースでは 2012 年に第 3 位につけている。プノンペンの商業施

1 日本貿易振興機構（JETRO：Japan External Trade Organization）ウェブサイト

設の投資が進められているためである。FDI は、全体的には規模が小型化しているものの件数は増加傾向にあるとされる。

表 2.1-2 「カ」国の国・地域別対内 FDI<認可ベース>

(単位：件、100万 US\$、%)

	2011 年		2012 年			伸び率
	件数	金額	件数	金額	構成比	
韓国	28	146	29	281	20.5	92.5
中国	22	1,191	41	264	19.2	△77.9
日本	3	6	5	212	15.5	3,350.10
タイ	0	-	8	121	8.8	全増
香港	19	331	15	117	8.6	△64.5
台湾	22	82	23	97	7.1	18.4
ベトナム	17	631	6	90	6.5	△85.8
シンガポール	1	14	9	83	6	501
サモア	1	4	2	41	3	997.1
英国	2	2,238	5	37	2.7	△98.3
その他	17	441	11	28	2	△93.6
合計	132	5,080	154	1,371	100	△73.0

出典：JETRO

一方、日本からも有償資金による開発協力を行っている SEZ における投資にあつては、日本は金額、件数とも他国を大きく引き離して一位につけている。投資分野としては、以前の縫製・製靴産業から、自動車部品や電気電子部品等を含むより技術的に高度な製造業の進出が増えているとされる。

表 2.1-3 「カ」国の SEZ への対内 FDI<認可ベース>

(単位：件、100万 US\$、%)

	2011 年		2012 年			伸び率
	件数	金額	件数	金額	構成比	
日本	15	95.6	18	65.6	34.4	△31.4
中国	6	28.9	11	33	17.3	14.3
マレーシア	0	-	4	30.8	16.1	全増
シンガポール	1	1	1	16.6	8.7	1,564.50
タイ	1	10	0	-	-	全減
台湾	3	9.9	0	-	-	全減
フランス	1	1	0	-	-	全減
米国	1	1	0	-	-	全減
その他	6	29	5	44.7	23.4	54.2
合計	34	176.4	39	190.8	100	8.2

出典：JETRO



今後は、縫製・製靴産業から他の分野の製造業への拡大や、単純労働集約型産業から知識集約産業への成長を図るのが国の戦略であり、そのためには継続して対内投資を確保していく必要があるが、周辺諸国と比較するとインフラの整備水準が低く、特に電力料金の高さ<sup>2</sup>と、プノンペン以外では必ず自家発電装置が必要とされる停電の多さが課題となっているとされ、電力セクターの高度化が成長の鍵となっているといえる。

---

2 プノンペンにおいて 15～20 円/kWh 程度に対し。タイでは 6～12 円/kWh、ベトナムでは 6 円/kWh (但し 2011 年値) 程度である。

## 2.2 電力セクターをめぐる基本政策<sup>3</sup>

### 2.2.1 国家開発戦略

「カ」国政府は、2013年に第3次四辺形戦略を策定した。四辺形戦略は、包括的な国家開発の枠組みを示したもので、農業分野の向上、インフラ復興と建設、民間セクターの開発と雇用創出、能力開発と人材育成の4分野に重点をおいている。

### 2.2.2 エネルギー政策

「カ」国政府のエネルギー政策では、1994年に策定された「Energy Sector Development Policy」において次の目標を掲げている。

- (1) エネルギーを適正な料金で全国に供給
- (2) 投資や経済発展を促進する電気料金の設定と安定かつ信頼性の高い電力供給
- (3) 経済発展に見合ったエネルギー供給を達成し、社会や環境に優しいエネルギー資源の開発を促進
- (4) エネルギーの効率的な使用を促進し、環境への影響を最小化

### 2.2.3 電力政策

「カ」国政府は2013年に、国家開発の包括的な枠組みを策定した第3次四辺形戦略を策定した。これに基づいた「国家戦略開発計画」“National Strategic Development Plan (2014–2018)”では、電力セクターにおいて、①供給力の確保、②供給エリアの拡張、③低廉な電気料金、④電力関係機関の強化と能力開発、⑤電気による国民の生活水準の改善、を重点政策に掲げている。

また、電化率の目標として、①2020年までにバッテリー照明を含めた村落電化率100%、②2030年までに電力系統からの供給による世帯電化率70%が設定されている。2013年末現在の村落電化率は79.71%（カンボジア電力庁、EAC：Electricity Authority of Cambodia）、2013年3月時点での世帯電化率は48%（都市部94%、地方部36%）（中間年人口調査）である。

<sup>3</sup> カンボジア国プノンベン送配電網整備事業準備調査ファイナルレポートを参考にJICA調査団が更新。

### (1) 政府方針

総合的な国家開発計画として、2014年に“National Strategic Development Plan”が策定されており、この中でエネルギーセクターの重点政策として、次が挙げられている。

- 1) さらなる低廉かつ高い技術による供給力の拡大（特に再生可能エネルギー）と送配変電設備の拡張
- 2) さらなる民間投資の促進と開発プロジェクトにおける環境社会配慮と経済効率の両立
- 3) 電化率の目標達成のための電力政策の実行
- 4) 地方電化基金へのサポート
- 5) オフピーク時の電気料金を下げ、生産および灌漑に利用することによる電力消費の効率化
- 6) 石油およびガスの探査・商業化の促進
- 7) 電力関係機関の組織強化、人材育成による運営能力向上および計画・マネージメント能力の向上
- 8) 域内連携の継続。

## 2.3 電力セクターに関連する法令・規則・基準他

### 2.3.1 電力法

表 2.3-1 に電力法および関連法令を示す。電力法 (Electricity Law of the Kingdom of Cambodia) は、下記を目的として 2001 年 2 月 2 日に公布された。

- ・ 電気事業の運営および電力サービスを提供する事業者の活動に関する原則
- ・ 電力設備の投資と事業活動に好ましい条件の創造
- ・ 「カ」国における電気事業の規則に関する原則
- ・ 妥当な価格で信頼できる十分な電力供給サービスを受ける消費者権利の保護
- ・ 電力供給サービスを行う設備の民間による所有の促進
- ・ 電力セクターにおける競争の確立
- ・ 電力供給サービスを規制するため、EAC に権利と義務を与えて設立し、必要に応じ発電と電力供給設備に関する供給者と消費者に罰則を適用

**表 2.3-1 Laws and Regulations on Power Sector Services and Use of Electricity**

No.	Name of Standard Documents	Promulgated by	Date Promulgated
1	Electricity Law of the Kingdom of Cambodia	The King	February 2, 2001
2	Sub-Decree on the Rate of the Maximum License Fees applicable to Electric Power Service Providers in the Kingdom of Cambodia	Royal Government	December 27, 2001
3	Procedures for Issuing, Revising, Suspending, Revoking, or Denying Licenses	Electricity Authority of Cambodia	September 14, 2001
	Revision 1		December 12, 2002
	Revision 2		March 16, 2004
4	Regulations on General Conditions of supply of Electricity in the Kingdom of Cambodia	Electricity Authority of Cambodia	January 17, 2003
	Revision 1		December 17, 2004
5	Regulatory Treatment of Extension of Transmission and Distribution Grid in the Kingdom of Cambodia	Electricity Authority of Cambodia	October 28, 2003
6	Regulations on Overall Performance Standards for Electricity Suppliers in the Kingdom of Cambodia	Electricity Authority of Cambodia	April 2, 2004
7	Procedure for Filing Complaint to EAC and for Resolution of Complaint by EAC	Electricity Authority of Cambodia	April 2, 2004
8	General Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia	Ministry of Industry, Mines and Energy	July 16, 2004
	First Amendment		August 9, 2007
9	Sub-Decree on Creation of Rural Electricity Fund of the Kingdom of Cambodia	The King	December 4, 2004
10	Sub-Decree on Principles for Determining the Reasonable Cost in Electricity Business	Royal Government	April 8, 2005
11	Prokas on Principles and Conditions for issuing Special Purpose Transmission License in the Kingdom of Cambodia	Ministry of Industry, Mines and Energy	July 21, 2006
12	Specific Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia	Ministry of Industry, Mines and Energy	July 17, 2007
13	Regulations on General Principles for Regulating Electricity Tariffs in the Kingdom of Cambodia	Electricity Authority of Cambodia	October 26, 2007
14	Procedures for Data Monitoring, Application, Review and Determination of Electricity Tariff	Electricity Authority of Cambodia	October 26, 2007
15	Grid Code	Electricity Authority of Cambodia	May 22, 2009

出典：カンボジア国 電力セクター基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート

### 2.3.2 電力技術基準

「カ」国電力技術基準総則 (GREPTS : General Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia) は、JICA の開発調査案件が鉱工業エネルギー省 (MIME : Ministry of Industry, Mines and Energy) (現鉱業エネルギー省 (MME : Ministry of Mines and Energy)) をカウンターパートして実施されて GREPTS 案として作成されたものが 2004 年 8 月 16 日に省令として発効された。GREPTS は、第 1 章「一般条項 (14 条)」、第 2 章「電力設備に要求される基本的事項 (51 条)」の合計 65 条から構成されている。第 1 章では、用語の定義、技術基準の目的及び適用範囲、電圧・周波数の種別等、感電・火災等の防止、供給支障の防止、環境保全等について規定されている。第 2 章の構成を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 GREPTS 第 2 章の構成

第 2 章 (第 15 条～第 65 条) の構成	
Part 1	全ての電力設備に共通の一般的要求事項 (第 15 条～第 20 条)
Part 2	火力発電設備に対する一般的要求事項 (第 21 条～第 25 条)
Part 3	水力発電設備に対する一般的要求事項 (第 26 条～第 28 条)
Part 4	その他発電設備に対する一般的要求事項 (第 29 条～第 30 条)
Part 5	送配電設備に共通な一般的要求事項 (第 31 条～第 39 条)
Part 6	高压送電線に対する一般的要求事項 (第 40 条～第 48 条)
Part 7	中低压配電線に対する一般的要求事項 (第 49 条～第 56 条)
Part 8	屋内配線に対する一般的要求事項 (第 57 条～第 65 条)

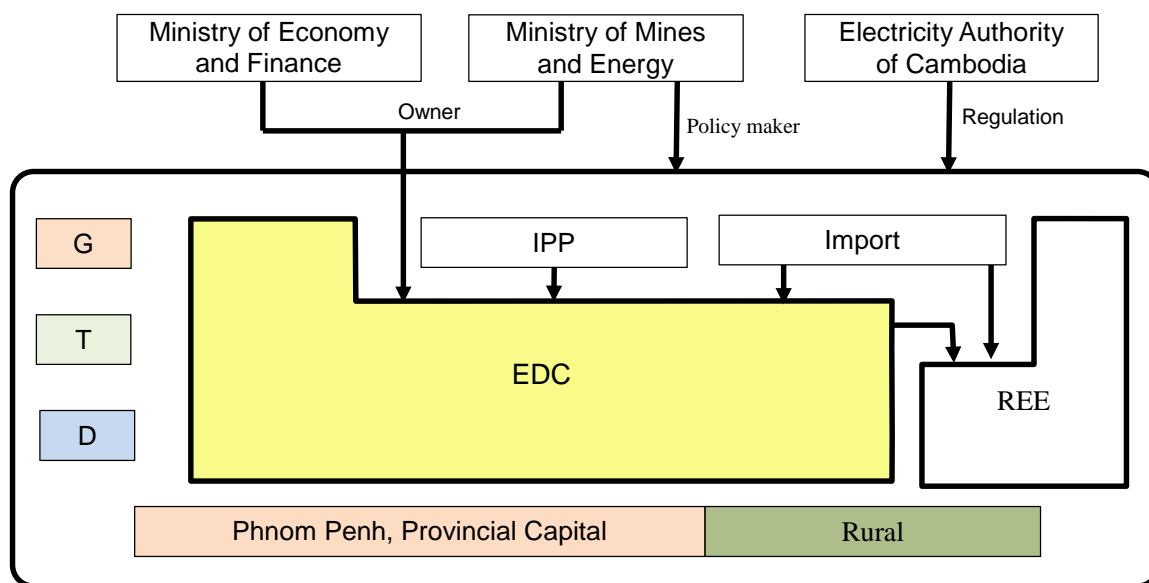
出典：カンボジア国 電力セクター基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート

GREPTS は、「性能規定」タイプの基準であり、詳細な数値が規定されている「仕様規定」タイプではない。欧米各国をはじめとする先進国では電気事業体制基盤が確立されていて、電気事業者の「自主保安」を基本概念としているので、電力技術基準の「性能規定」化が図られている。

しかしながら、「カ」国では電気事業の組織体制そのものが脆弱であり、その能力自体も高いとは言えないため、MIME 及び EAC は GREPTS のみでは電力技術基準を十分に運用することができないのが現状であった。そのため、2004 年から 2007 年にかけて JICA の支援により、EAC に対する技術審査能力の向上と併せて火力発電・送変電・配電に係る電力技術基準細則 (SREPTS : Specific Requirements of Electric Power Technical Standards of the Kingdom of Cambodia) を作成し、2007 年 7 月 17 日に法制化された。その後、2008 年から 2009 年にかけて水力発電に係る SREPTS が JICA の支援によって作成され、2010 年に法制化されている。

## 2.4 電力セクターの関係機関とその役割

電力セクターの構成は図 2.4-1 の通りである。電力政策を担当する、① MME、電気事業の許認可を所管する、② EAC、プノンペンや主な州都に電気を供給している、③ EDC が主な組織であり、本事業に関係する部署もこの3箇所になる。その他に、地方電気事業者（REE：Rural Electricity Enterprise）として、民間電気事業者（PEC：Private Electricity Company）があり、自ら発電した電気を配電している電気事業者と、EDC や独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）等から購入した電気を地域住民に供給する配電事業のみを行っている電気事業者に分かれる。

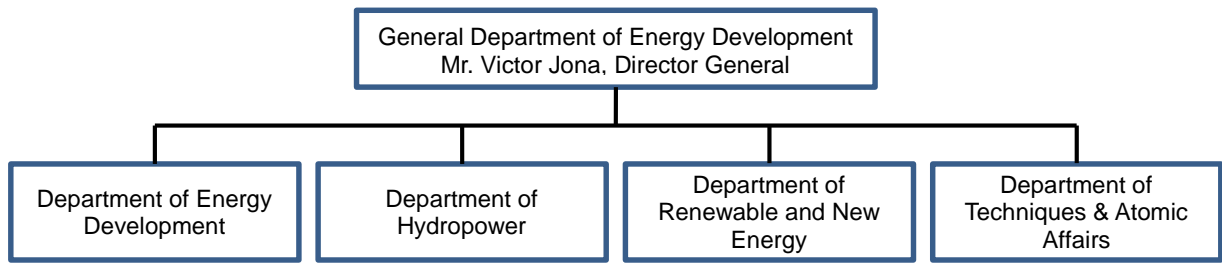


出典：JICA カンボジア国電力セクター基礎情報収集・確認調査を JICA 調査団が編集

図 2.4-1 電力セクター関連図

### 2.4.1 MME

MME は、2013 年 12 月末に MIMC の組織改編により、手工業省（Ministry of Industry and Handicraft）と MME に分かれたため新しく省として独立した。MME は従来と同じく電力行政を管轄しており、「カ」国の電力政策策定、方針決定、電力開発計画の取纏め等を行っており、その組織機能は以前の電力セクターの役割と変わっていない。しかしながら、電力セクターの開発を担うエネルギー開発総局（General Department of Energy Development）は、以前の3部門から以下の4部門に分かれている。新設されたのは、Department of Techniques & Atomic Affairs である。

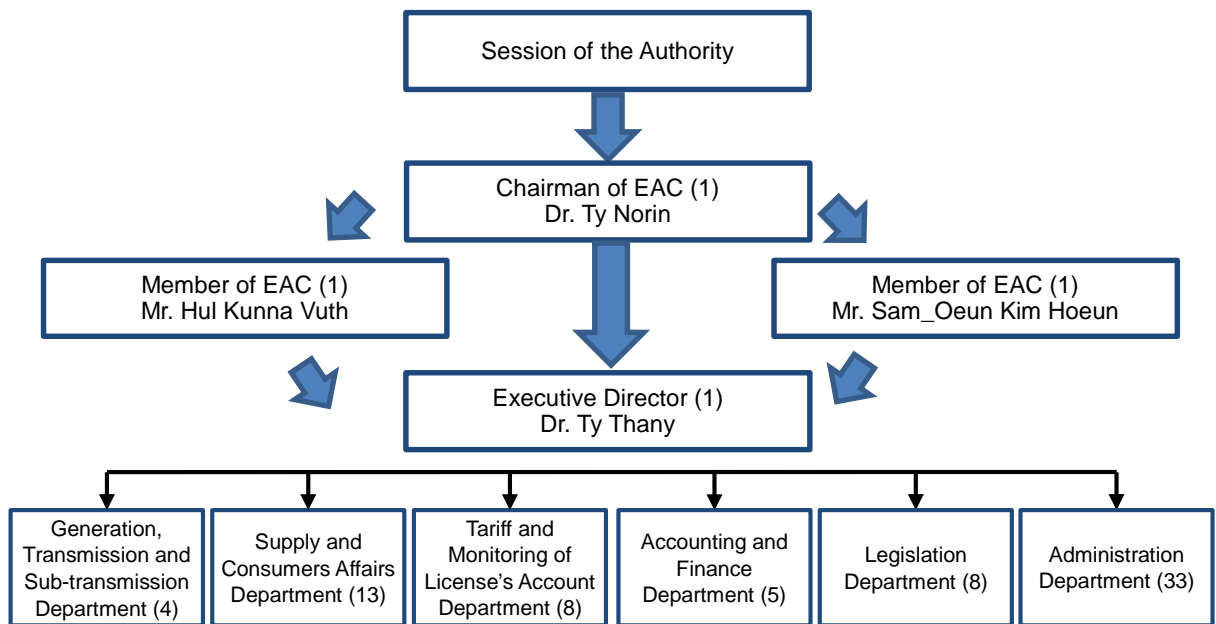


出典：MME

図 2.4-2 MME エネルギー開発総局の組織図

### 2.4.2 EAC

EAC は、「カ」国の電力事業にかかる規制・基準・電力事業者への許認可を付与する組織として設立された機関であり、主な業務としては、事業免許の交付・停止、電気料金の認可、電力技術基準の策定、電気事業の監督、電気事業関連情報の収集等がある。EAC の組織については、図 2.4-3 に示す通りである。

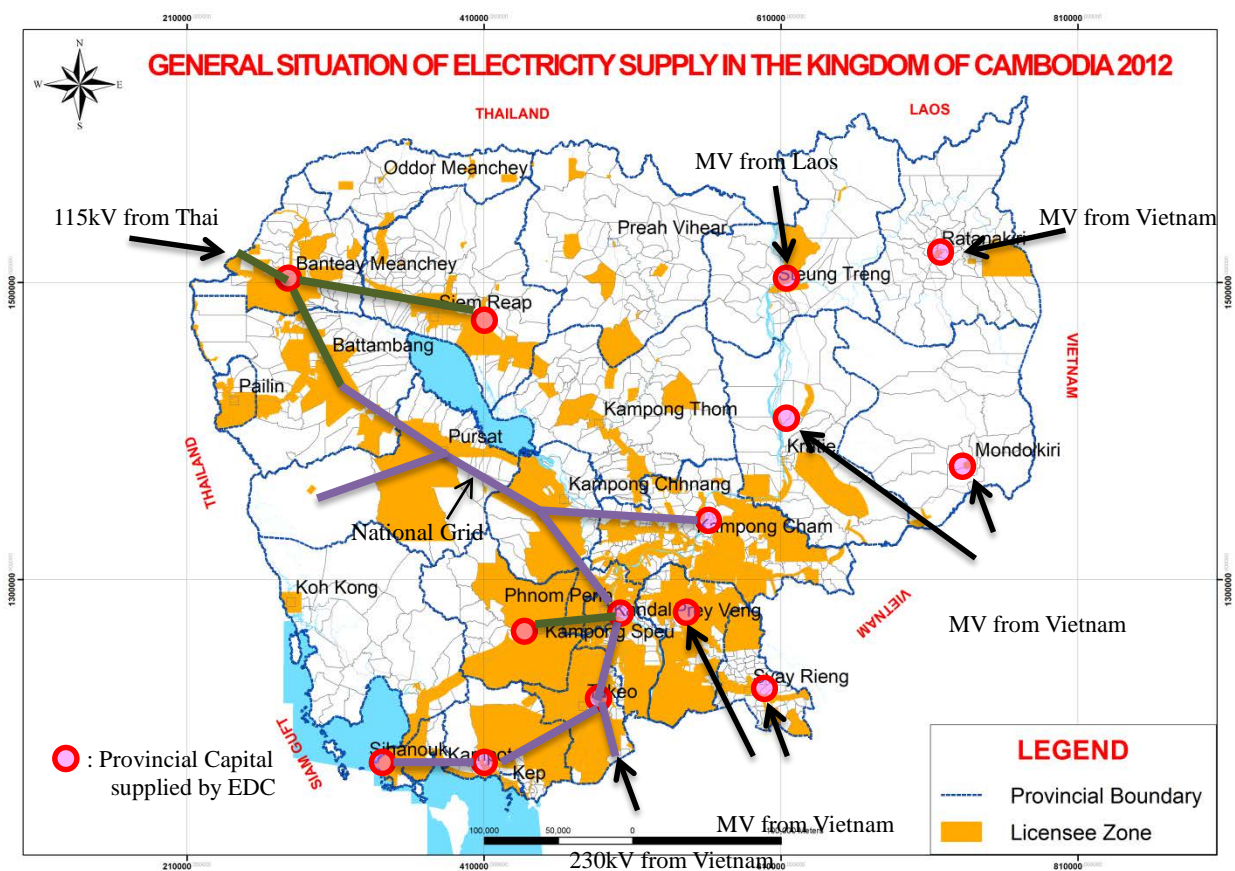


出典：EAC

図 2.4-3 EAC 組織図

### 2.4.3 EDC

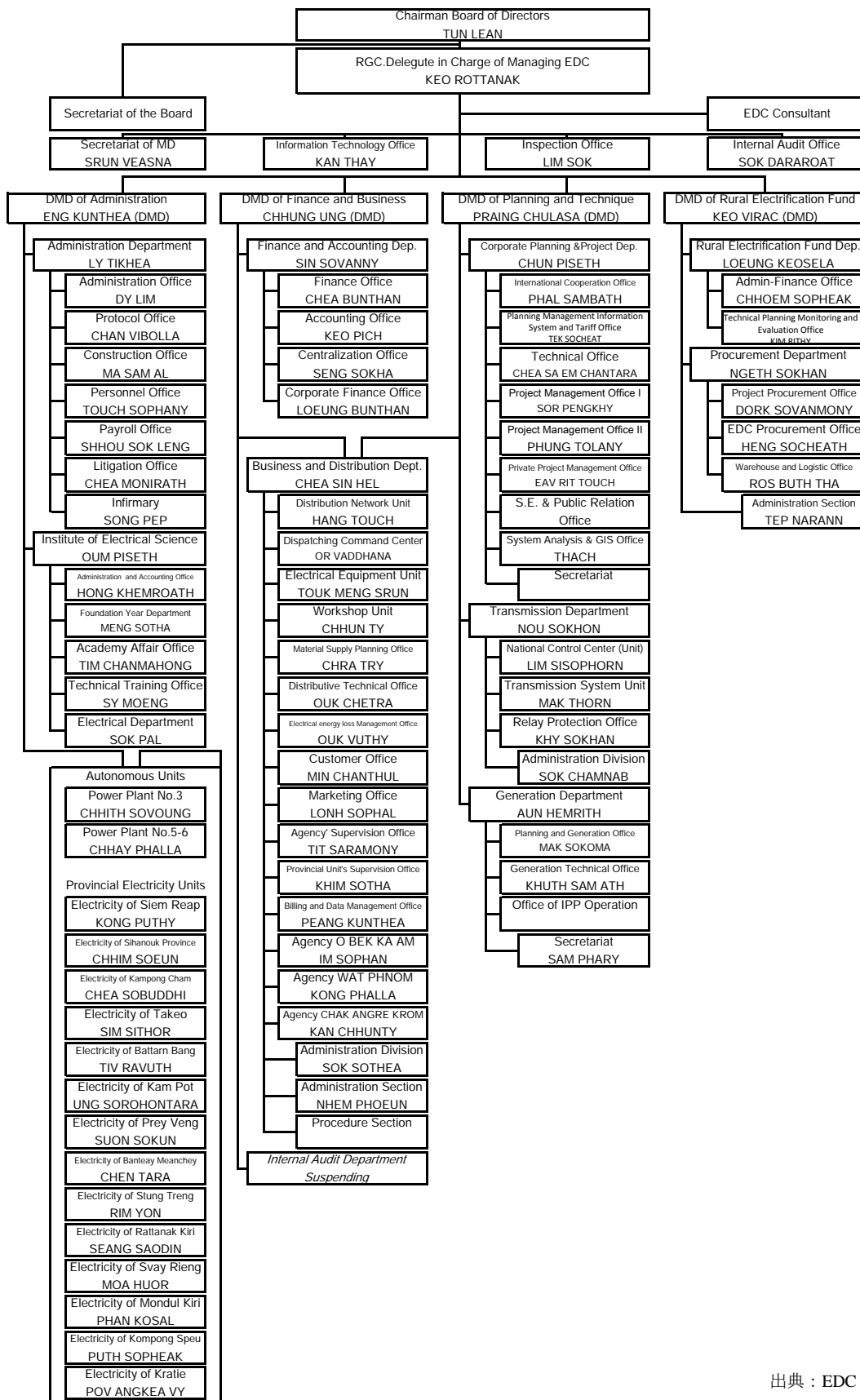
EDC は、「カ」国において発送配電事業を行う国営電力公社であり、隣国よりの電力輸入、IPP よりの電力融通・買電、基幹送電網及び配電網の建設・運営を行っている。供給エリアは、首都圏（プノンペンおよび一部の Kandal 州）、Siem Reap 州、Preah Sihanouk 州、Kampong Cham 州、Takeo 州、Battambang 州、Kampot 州、Prey Veng 州、Banteay Meanchey 州、Stung Treng 州、Ratanak Kiri 州、Svay Rieng 州、Mondul Kiri 州、Kampong Speu 州、Kratie 州の州都とベトナム国境近くの一部エリアである。下図に、2013 年末現在における REE を含む電気事業者の供給エリアと EDC が供給している州都および隣国との接続状況を示す。



出典：EAC、JICA 調査団作成

図 2.4-4 EDC 供給状況





出典：EDC

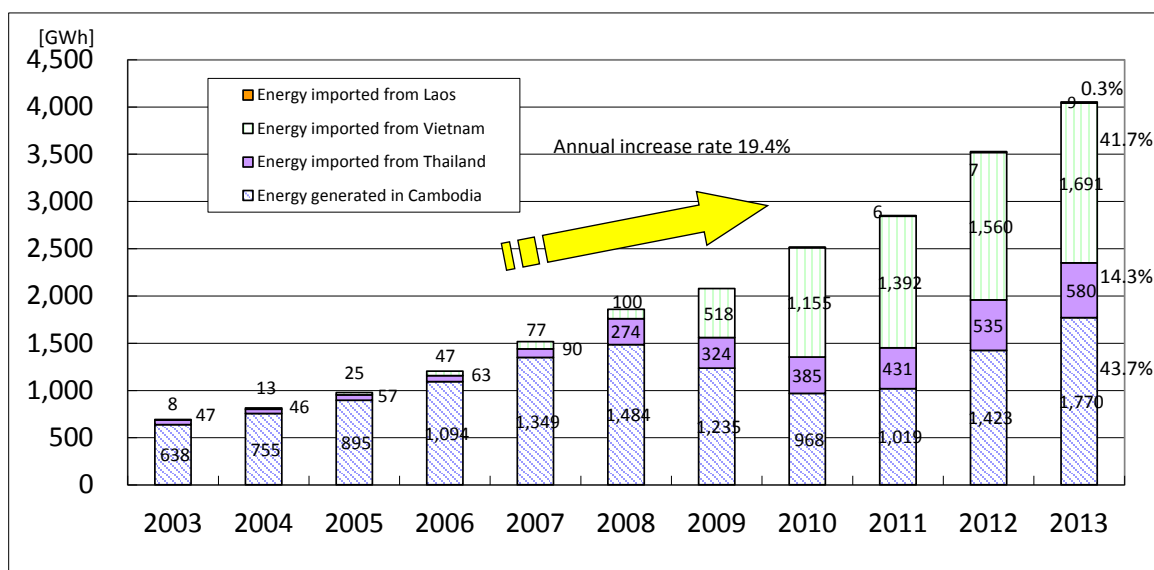
図 2.4-5 EDC 組織図(2014年3月現在)

## 2.5 電力需給状況

### 2.5.1 電力需要

#### (1) 発電電力量の推移

2003年から2013年までの「カ」国全国における発電輸入電力量の推移を下図に示す。年平均伸び率19.4%で増加しているが、割高な国内の内燃力発電による電力から安価な輸入電力にシフトした結果、2013年において電力量の半分以上を隣国から輸入している。

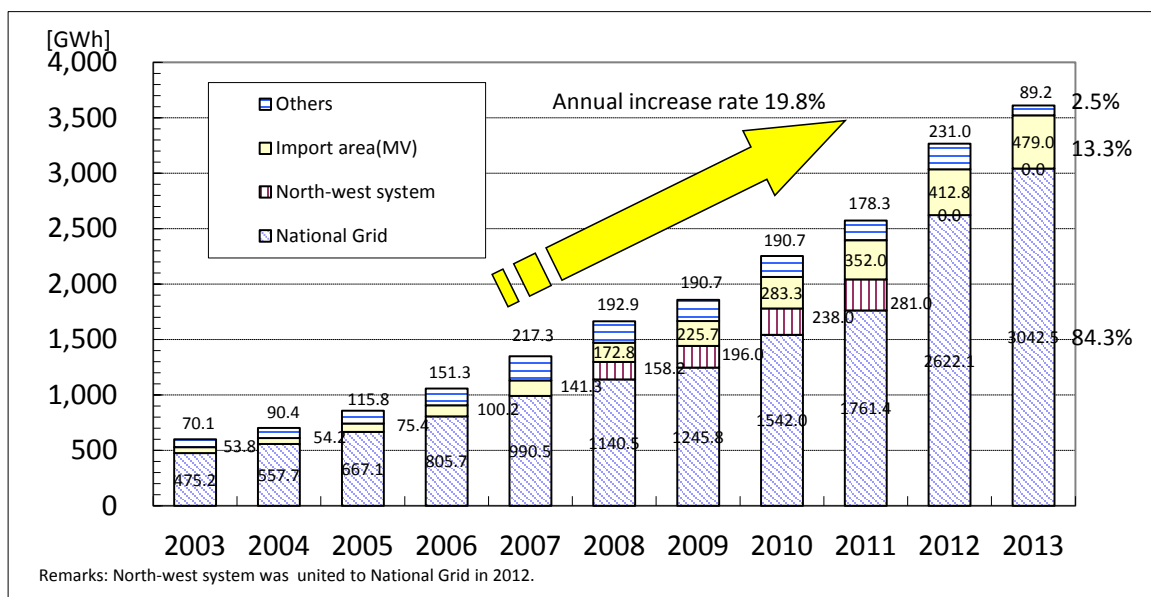


出典：EAC Annual Report

図 2.5-1 発電電力量の推移

#### (2) 販売電力量の推移

2003年から2013年までの「カ」国全国の販売電力量の推移を下図に示す。年平均伸び率は19.8%であり、2013年においてプノンペン首都圏を含む National Grid (115kV もしくは 230kV 送電線で接続された基幹系統) における販売電力量が8割以上を占めている。

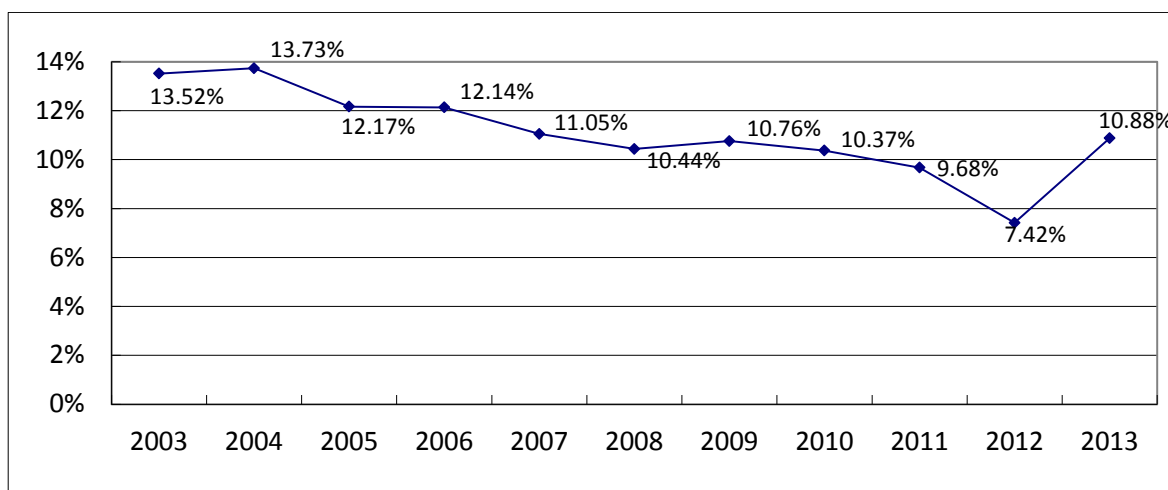


出典：EAC Annual Report

図 2.5-2 販売電力量の推移

(3) 送配電ロスの推移

2003年から2013年までの「カ」国全国の送配電ロスの推移を下図に示す。送配電網の拡張に沿って徐々に低下し、2012年では7.42%になっていたが、2013年に10.88%に上昇している。これは、EACによると2013年に需要密度が低い地域へ配電線が伸びたことによることで、販売電力量と比較して送配電ロスが増えたことが主な要因と考えられる。



出典：EAC Annual Report

図 2.5-3 送配電ロスの推移

#### (4) 最大電力実績の推移

最大電力は、REE の実績はなく、EDC のみの実績があるため、EDC の各系統における 2001 年から 2012 年までの最大電力実績を下表に示す。

表 2.5-1 最大電力実績の推移

(単位：MW)

Location	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Phnom Penh, Kandal and Kampong Speu	70.3	77.6	88.0	100.9	116.3	133.1	165.0	204.5	239.0	244.1	300.2	349.4	410.0
Siemreap	2.6	3.1	3.1	4.8	6.4	10.9	14.4	18.9	27.6	30.0	35.0	39.1	47.4
Preah Sihanouk	3.0	3.5	3.5	4.7	4.9	5.2	7.4	8.6	9.5	10.2	13.4	16.4	18.5
Kampong Cham	1.4	1.4	1.4	1.6	1.5	1.7	2.1	2.5	2.5	6.8	7.3	8.5	10.5
Krek				0.9	1.5	2.2	1.9	4.1	4.1	5.5	5.0	6.5	6.5
Memot				1.0	1.6	2.6	1.2	3.8	3.8	3.0	3.0	3.9	3.9
Takeo	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	1.0	1.2	1.4	2.3	2.7	4.7	6.7
Battambang		2.5	2.8	3.2	3.9	4.4	5.2	5.6	7.0	8.0	10.5	16.8	20.5
Kampong Trach				0.1	0.2	0.3	0.2	0.7	0.8	1.2	2.1	2.4	3.1
Kampot					1.1	1.3	1.3	1.3	1.9	2.4	4.5	5.5	5.3
Prey Veng					0.7	0.2	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9	1.5	3.2
Banteay Meanchay						1.5	2.3	2.6	3.9	4.3	5.5	6.3	8.8
Steung Treng						0.8	0.5	0.7	1.0	1.1	2.0	2.4	3.2
Rattanakiri					1.1	1.5	1.5	1.3	1.7	1.8	1.9	2.2	3.7
Svay Rieng						0.9	0.8	1.3	2.2	2.8	3.7	5.4	5.3
Bavet				0.8	0.8	1.7	2.7	4.5	4.8	9.5	11.0	11.2	15.1
Mondul Kiri											0.5	0.6	0.7
Keoseyma													0.4
Kratie												2.1	1.2
Snoul													1.5

Legend:  National Grid in 2012  
 Imported from Vietnam by MV  
 Imported from Laos

出典：EDC Annual Report

2012 年時点で EDC が供給するすべてのエリアはベトナム、タイもしくはラオスと接続されている。2014 年 3 月現在では、2012 年と比較して National Grid に Kampong Cham 系統が接続されている。

また、2014 年 3 月末時点における National Grid における最大電力実績は 2014 年 3 月 31 日(月) 10 時に記録しており、発電端で 699.5MW である。その日の発電実績とプノンペン系統供給分を下表に示す。

表 2.5-2 National Grid における発電実績(2014年3月31日(月))

Time	Vietnam	Kamchay PH1	Kamchay PH2	Kirirom 1	Kirirom 3	CEL	Phnom Penh Sugar	SL Garment	Sovanna Phum	KEP	CEP	Colben	CUPL	C6	C5	C3	Colben Sihanouville	GTS	Siemreap	Thai	Othres	Power cut	Total	
	-	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	EDC	EDC	EDC	IPP	IPP	EDC	-	EDC	-		
1:00	170.5					103.0	1.5		8.0	16.0	22.0													395.2
2:00	170.0					103.0	1.5		8.0	12.0	17.0													381.3
3:00	168.5					102.6	1.5		8.0	7.0	12.0													367.8
4:00	167.3					102.8	1.5		8.0		6.0													350.8
5:00	169.6					102.8	1.6		8.0		6.0													353.4
6:00	168.0					103.0			8.0	7.0	10.0													365.5
7:00	155.5					103.0	3.0		8.0	35.0	35.0	4.0	25.5	12.0			2.0	5.5						459.3
8:00	170.6	76.5	3.1			103.6	5.0		8.0	43.2	45.0	5.9	28.5	15.0	8.0		2.0	7.0						612.5
9:00	165.2	123.3	6.0			103.5	5.0		8.0	43.2	45.0	5.9	28.5	15.0	8.0		2.0	7.0						664.0
10:00	171.1	140.5	8.8			102.9	5.0		8.0	43.2	45.0	8.0	27.5	15.0	8.0		2.0	7.0		3.3	99.4	4.8		699.5
11:00	141.6	101.6	8.7			103.0	5.0		8.0	43.2	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		2.0	7.0		3.5	99.5	3.6	5.0	636.0
12:00	171.5	38.0	4.1		17.0	102.5	4.0	0.1	8.0	32.0	38.0	9.0	25.0	12.0	7.8		2.0	7.0		6.8	85.7	4.1	5.5	580.1
13:00	168.9	84.7	3.9		17.1	102.8	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		2.0	7.0		7.0	91.5	4.2	5.0	653.4
14:00	168.0	117.6	7.7		16.3	102.9			8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		2.0	7.0		7.0	100.1	5.0	5.0	692.9
15:00	163.1	108.5	6.9		15.0	103.1	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		2.0	7.0		9.9	94.7	5.0	13.3	687.8
16:00	166.2	96.6	5.2		15.0	103.5	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		2.0	7.0		9.9	93.2	4.9	3.0	665.8
17:00	162.6	71.5	5.4		15.1	102.0	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	28.5	15.0	7.8		2.0	7.0		9.9	87.7	4.9	3.0	631.4
18:00	158.7	35.1	2.9		16.0	103.0	4.0	0.1	8.0	31.0	30.0	8.5	26.5	12.0	7.4		2.0	7.0		9.9	75.8	5.1		543.0
19:00	166.8	35.4	2.9		16.0	103.1	2.9	0.1	8.0	42.0	45.0	9.0	28.5	15.0	7.4		2.0	7.0		10.5	96.7	5.0		603.3
20:00	168.2	36.1	2.9		16.0	103.3	2.4		8.0	42.0	37.5	9.0	33.0	15.0	7.4		2.0	7.0		10.5	99.5	5.0		604.8
21:00	167.4	36.1	2.9		16.0	102.9	2.4	0.3	8.0	39.0	40.0	8.5	30.0	12.0	7.4		2.0	7.0		10.5	97.4	5.0		594.8
22:00	169.4		2.7			103.0	2.0	0.3	8.0	42.0	45.0	8.5	30.0	12.0	5.6		2.0	7.0		10.5	86.8	-0.5		534.3
23:00	167.3					103.6	1.6	0.4	8.0	42.0	45.0	8.5		15.0			2.0	7.0		3.3	77.4	0.1		481.2
0:00	164.7					103.2	1.6	0.2	8.0	43.2	37.5	5.9												438.0

出典：EDC

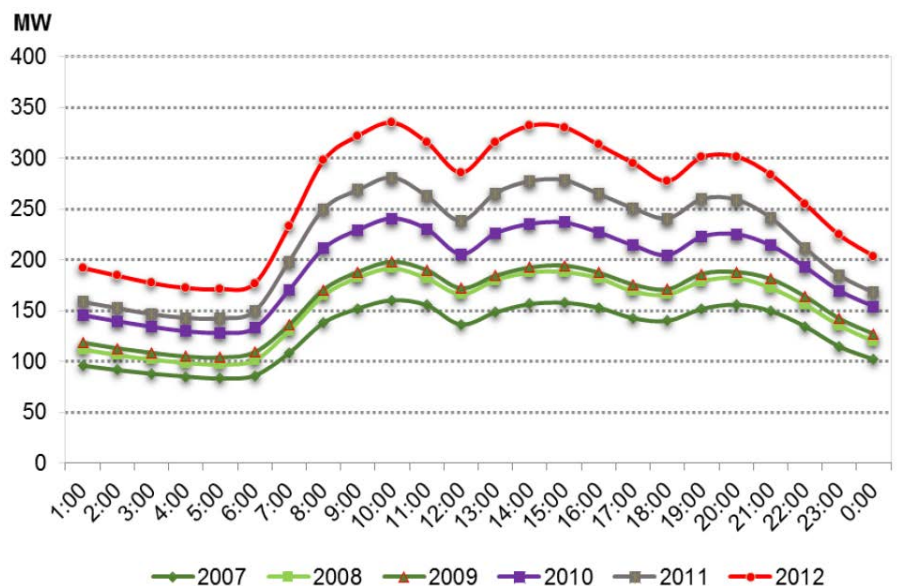
表 2.5-3 プノンペンシステムに対する発電実績(2014年3月31日(月))

Time	GS4	Kampong Cham GS	Kampong Speu GS	Phnom Penh Sugar	SL Garment	Sovanna Phum	KEP	CEP	Colben	CUPL	C6	C5	C3	Other s	Power cut	Total	
	-	-	-	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	IPP	EDC	EDC	EDC	-	-		
1:00	245.6	-12.0	-4.0	1.5		8.0	16.0	22.0									277.1
2:00	245.4	-10.0	-3.9	1.5		8.0	12.0	17.0									270.0
3:00	244.2	-10.0	-3.8	1.5		8.0	7.0	12.0							0.1		259.0
4:00	243.0	-9.0	-3.8	1.5		8.0		6.0									245.7
5:00	245.0	-9.0	-4.1	1.6		8.0		6.0									247.5
6:00	242.2	-10.0	-4.3			8.0	7.0	10.0									252.9
7:00	215.4	-10.0	-5.2	3.0		8.0	35.0	35.0	4.0	25.5	12.0						322.7
8:00	316.7	-19.0	-6.8	5.0		8.0	43.2	45.0	5.9	28.5	15.0	8.0					449.5
9:00	357.6	-20.0	7.1	5.0		8.0	43.2	45.0	5.9	28.5	15.0	8.0					503.3
10:00	378.0	-17.0	7.9	5.0		8.0	43.2	45.0	8.0	27.5	15.0	8.0					528.6
11:00	311.9	-17.0	9.7	5.0		8.0	43.2	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8			5.0		470.1
12:00	283.5	-12.0	8.9	4.0	0.1	8.0	32.0	38.0	9.0	25.0	12.0	7.8		0.5	5.5		422.3
13:00	321.4	-15.0	9.6	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		-0.4	5.0		479.9
14:00	355.2	-17.0	8.2			8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		-0.4	5.0		505.3
15:00	344.0	-18.0	7.8	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		-0.4	13.3		506.0
16:00	332.5	-17.0	8.0	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	27.5	15.0	7.8		-0.4	3.0		485.4
17:00	306.9	-17.0	8.5	5.0		8.0	42.0	45.0	9.0	28.5	15.0	7.8		-0.4	3.0		461.3
18:00	267.4	-3.0	9.9	4.0	0.1	8.0	31.0	30.0	8.5	26.5	12.0	7.4					401.8
19:00	269.4	-18.0	9.7	2.9	0.1	8.0	42.0	45.0	9.0	28.5	15.0	7.4					419.0
20:00	270.0	-19.0	9.6	2.4		8.0	42.0	37.5	9.0	33.0	15.0	7.4					414.9
21:00	272.2	-17.0	10.0	2.4	0.3	8.0	39.0	40.0	8.5	30.0	12.0	7.4					412.8
22:00	259.6	-12.0	-4.7	2.0	0.3	8.0	42.0	45.0	8.5	30.0	12.0	5.6					396.3
23:00	259.2	-14.0	-4.4	1.6	0.4	8.0	42.0	45.0	8.5		15.0			-0.3			361.0
0:00	237.8	-14.0	-4.2	1.6	0.2	8.0	43.2	37.5	5.9								316.0

出典：EDC

### (5) 日負荷曲線の推移

プノンペン系統（Kampong Speu 州を含む）における日負荷曲線（年平均値）の推移を下図に示す。10時、15時、20時ごろにピークがあるが、10時、15時のピークが最も大きい。



出典：EDC Annual Report 2012

図 2.5-4 日負荷曲線の推移(平均値)

また、2012年におけるプノンペン系統（Kampong Speu 州を含む）の発電電力量が 2,479.73GWh であり、最大電力が 410MW であるため、負荷率は 69.0%になる。

## 2.5.2 電力開発計画

現在、2006年に世界銀行の支援で作成された電力開発計画の改定作業を中国電力の支援により実施している。改定される電力開発計画は、2030年までの需要想定、電源開発計画、送変電開発計画を含んでおり、2014年12月末までに改定案が大臣承認される見込みである。よって、以下の電力開発計画は、現在判明している事項のみを記載している。

### (1) 電源開発計画

現在の改定作業において、すでに電力購入契約（PPA：Power Purchase Agreement）が結ばれている2017年までに運開する以下の電源開発プロジェクトは確定されている。それ以降の電源開発計画については、今後の改定作業に沿って見直しがされる。2012年以降に運開した電源を含めて以下に示す。

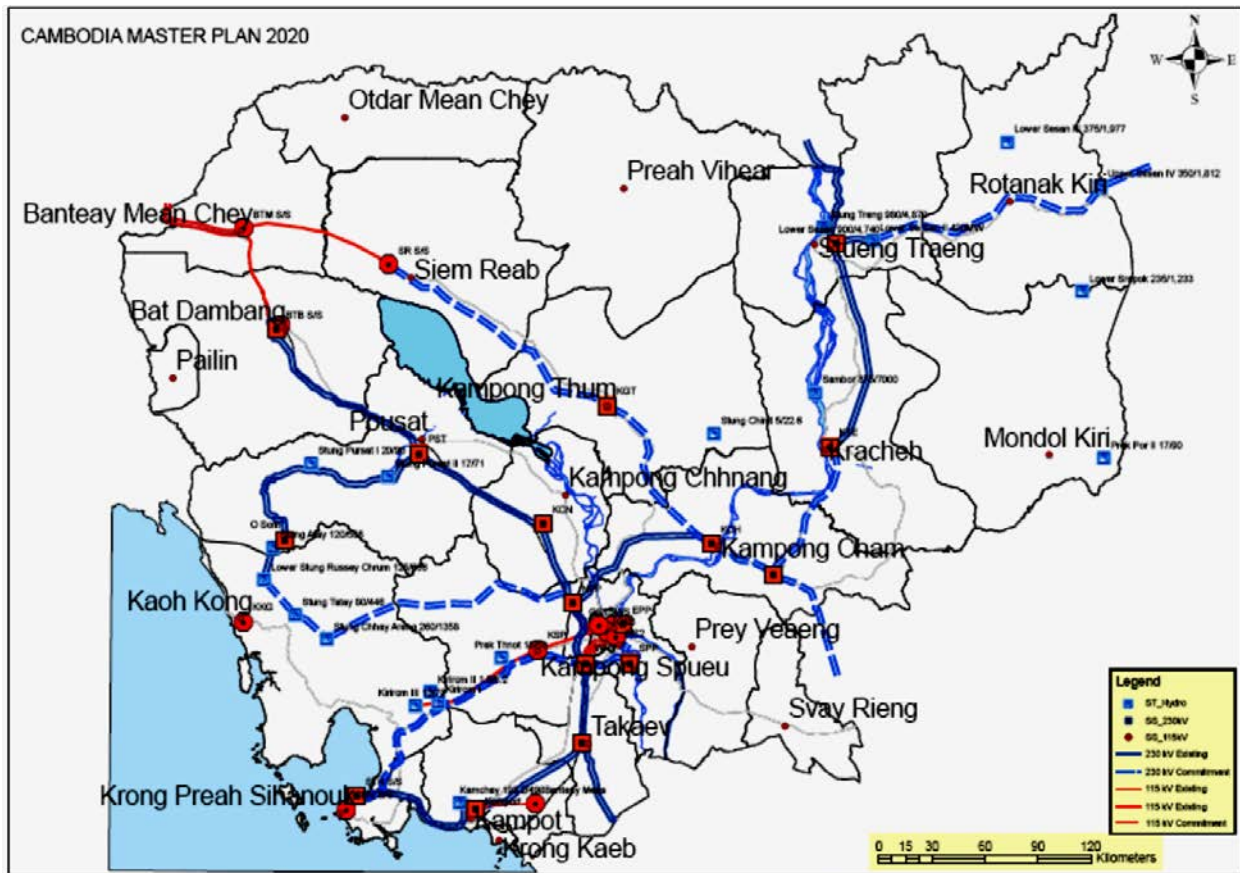
表 2.5-4 電源開発計画

No.	Project Name	Type	Capacity (MW)	Scheduled commencement progress	Company	Condition as of July 2014	Connection point to National grid
-	Kamchay	Hydro	194.1	2012	Sinohydro Kamchay Hydroelectric Project Co. Ltd. (China)	Operation	180MW: Kampot S/S 14.1MW: Local
-	Kirirom III	Hydro	18	2012	CETIC Hydropower Development Co. Ltd. (China)	Operation	Kirirom I P/P
-	Stung Atay	Hydro	120	2013	C.H.D. (Cambodia) Hydropower Development Co. Ltd. (China)	Operation	O'soam S/S
-	100 MW Coal Fired Power Plant on BOO Basin in the Preah Sihanouk Province	Coal	100 (net)	2013	Cambodian Energy Limited (Malaysia)	Operation	Sihanouk Province Terminal S/S
1	Stung Tatay	Hydro	246	2014	Cambodian Tatay Hydropower Ltd. (China)	Test Operation	O'soam S/S
2	Lower Stung Russei Churum		338	July, 2014	China Huadian Lower Russei Churum Hydroelectric Project (Cambodia) Company Ltd. (China)	Operation	
3	270MW Phase 1 of the 700MW Coal Fired Power Plant on BOO Basin in the Preah Sihanouk Province	Coal	270 (net 240)	2014 (135MW) 2015 (135MW)	Cambodia International Investment Development Group Co. Ltd. (China)	Under construction	Sihanouk Province Terminal S/S
4	135MW Coal Fired Power Plant on BOO Basin in the Preah Sihanouk Province		135 (net 120)	2017		PPA signed with EDC	
5	Lower Sesan 2	Hydro	400	2017	Hydro Power Lower Sesan 2 Company Co., Ltd. (Royal Group (Cambodia) and Hydrolancang International Energy Co., Ltd. (China) (90%), and EVN International Joint Stock Company (EVNI) (10%))	Under construction	Steung Treng GS

出典：JICA 調査団作成

(2) 送変電開発計画

現在、送変電開発計画は、電力開発計画の改定作業に沿って見直し中である。以下に、「カ」国政府が 2011 年 11 月に施行した省令 (PRAKAS) である「地方電化促進のための戦略および計画」(SPDRE : Strategy and Plan for Development of Rural Electrification in the Kingdom of Cambodia) に記載されている 2020 年までの National Grid の拡張計画を図に示す。



出典：SPDRE

図 2.5-5 2020 年における基幹送電系統と変電所

また、115kV 以上の送電線（計画分を含む）を下表に示す。

表 2.5-5 送電設備一覧(計画分を含む)

Transmission Line		Voltage [kV]	Length [km]	Circuit	Conductor	Capacity [MVA/cct]	Commercial Operation Year	Owner
From	To							
West Phnom Penh	Takeo	230	46	2	ACSR 632	430	2008	EDC
Takeo	Vietnam Border	230	50	2	ACSR 400	302	2008	EDC
Takeo	Kampot	230	73	2	ACSR 400	302	2012	EDC
Kamchay Hydro	Kampot	230	11	2	ACSR 400	302	2012	EDC
West Phnom Penh (GS4)	Kampong Chhnang	230	88	2	ACSR 632×2	861	2012	CPG
Kampong Chhnang	Pursat	230	83	2	ACSR 632×2	861	2012	CPG
Pursat	Battambang	230	122	2	ACSR 632×2	861	2012	CPG
Pursat	O'soam	230	132	2	ACSR 632×2	861	2012	CPG
Kampot	Sihanoukville	230	82	2	ACSR 632	430	2013	EDC
Sihanoukville	Stueng Hav Thermal	230	-	2	-	-	2013	BOT
North Phnom Penh (GS6)	Kampong Cham	230	97	2	ACSR 632×2	861	2013	CTL
South Phnom Penh (GS7)	West Phnom Penh (GS4)	230	24	2	ACSR 632×2	861	(2014)	EDC
Stung Tatay	O'soam	230	65	2	ACSR 400	302	2014	BOT
Lower Russey Chrum (upper 87 MW×2)	O'soam	230	32	2	ACSR 400	302	2014	BOT
Lower Russey Chrum (lower 82 MW×2)	O'soam	230	40	2	ACSR 400	302	2014	BOT



Transmission Line		Voltage [kV]	Length [km]	Circuit	Conductor	Capacity [MVA/cct]	Commercial Operation Year	Owner
From	To							
Stung Treng	Kratie	230	-	2	ACSR 632×2	861	(2015)	EDC
Kampong Cham	Kratie	230	-	2	ACSR 632×2	861	(2015)	LYP
Stung Treng	Lao	230	-	2	ACSR 632	430	(2016)	EDC
West Phnom Penh (GS4)	Sihanoukville	230	-	2	ACSR 632×2	861	(2016)	CHMC
Stung Treng	Lower Sesan2 Hydro	230	36	2	ACSR 400×2	604	(2017)	BOT
Sre Ambil	Koh Kong	230	-	2	-	-	(2018)	-
North Phnom Penh	Chhay Areng Hydro	230	-	2	-	-	(2018)	-
Chhay Areng Hydro	O'soam	230	-	2	-	-	(2018)	-
Koh Kong	O'soam	230	-	2	-	-	(2019)	KTC
Chay Areng Hydro	Chamkar Luong	230	-	2	-	-	(2019)	EDC
GS1	GS3	115	11.3	1	AAC 250×2	238	2000	EDC
GS3	CEP	115	5.0	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
CEP	GS2	115	7.0	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
GS2	KEP	115	6.6	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
KEP	Old GS4	115	14.3	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
Old GS4	SWS (GS5)	115	21.4	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
GS5	GS1	115	5.3	1	AAC 250×2	238	2009	EDC
Old GS4	GS4	115	10.3	2	ACSR 632	215	2009	EDC
GS5	Kampong Speu	115	40.9	2	ACSR 150	85	2000	EDC
Kampong Speu	Kirirom1 hydro	115	65.2	2	ACSR 150	85	2000	EDC
Kirirom1 hydro	Kirirom3 hydro	115	38.0	2	ACSR 150	85	2012	EDC
Stung Atay(1st 20 MW)	Stung Atay (2nd 100 MW)	115	15	1	ACSR 150	85	2012	BOT
Stung Atay (2nd 100MW)	O'soam	115	8	2	ACSR 500	-	2012	BOT
SPP (GS7)	GS2	115	16.4	2	ACSR	-	(2014)	EDC
GS5	NPP (GS6)	115	24.8	2	ACSR	-	(2014)	EDC
Thai Border	Industrial Estate GS	115	4.0	1	AAC400	-	2007	CPTL
Industrial Estate GS	Banteay Meanchay	115	43.0	1	AAC400	-	2007	CPTL
Banteay Meanchay	Siem Reap	115	85.0	1	AAC400	-	2007	CPTL
Banteay Meanchay	Battambang	115	53.0	1	AAC400	-	2007	CPTL
SPP (GS7)	Neak Loeung	115	-	-	-	-	(2016)	CHMC
Neak Loeung	Svay Rieng	115	-	-	-	-	(2016)	CHMC

- \* ACSR : Aluminum Conductor Steel Reinforced (鋼心アルミより線)
- \* ACSR/AC : Aluminum Conductor Aluminum Clad Steel Reinforced (アルミ覆鋼心アルミより線)
- \* AAC : All Aluminum Conductor (全アルミより線)
- \* BOT : Build, Operate and Transfer (建設・運営・譲渡)
- \* CPG : Cambodian Power Grid Co., Ltd.
- \* LYP : Ly Yong Phat Group
- \* CTL : Cambodian Transmission Limited
- \* CHMC : China National Heavy Machinery Corporation
- \* CPTL : Cambodian Power Transmission Line Co., Ltd.
- \* KTC : KTC Cable Co., Ltd.

出典：JICA 調査団作成

## 2.6 他ドナーの支援状況

### 2.6.1 世界銀行

近年の世界銀行から「カ」国電力セクターへの支援について、以下の表にまとめた。  
周辺国との国際連系線と地方電化のための送配電網の強化が主な事業内容となっている。

表 2.6-1 近年の世界銀行から「カ」国電力セクターへの支援

事業名称	期間	総事業費 (世銀) \$1,000	目的	実施 機関	事業概要
GMS Power Trade (Cambodia) Project	5 Jun 2007 - 31 Dec 2011	20,000 (18,500)	インフラ形成 地域統合 地方インフラ	EDC	ラオスとベトナムから「カ」国のいくつかの地域に安価な電力を供給するための事業。 (1) 115 kV 送電線: Ban Hat(ラ)－Stung Treng(カ)間 (2) 115 kV 送電線: Tan Bien(ベ)－Kampong Cham(カ)間。電力相互融通目的 (3) 115 kV 送電線: Xeset1－Saravan 間。将来的にタイ西部、ラオス、「カ」国南部を連系 (4) ラオス側中給の調査、設計、建設 (5) 水力開発、工事実施、組織強化にかかる技術協力
Rural Electrification and Transmission Project	16 Dec 2003 - 31 Jan 2012	67,920 (40,000)	インフラ形成 地方インフラ 地方政策/制度 市場競争政策 気候変動	MIME	<u>送電コンポーネント:</u> 220kV 2 回線ベトナム－プノンペン間、 2 変電所建設、 プノンペン周辺の配電網強化(3 変電所強化、 22kV 配電線強化)、 中央給電指令所(NCC: National Control Center)の確立 EDC のキャパシティ強化 <u>地方電化コンポーネント:</u> 中低圧線の延長による農村部の電化 EDC と REEs の連携強化 (配電免許、料金収受強化、契約管理強化、 等) <u>パイロット地方電化基金コンポーネント:</u> ミニ・オフグリッド電化プログラム PEC 及び地方組織の強化 新規接続、家庭用太陽光発電利用世帯への 接続、小水力開発、等
Renewable Energy Development Project	16 Dec 2003 - 31 Jan 2012	5,920 (0)	気候変動 インフラ形成 地方政策/制度 地方インフラ 環境政策/制度	—	上記プロジェクトのための技術協力(TA)

出典: JICA 調査団作成

## 2.6.2 アジア開発銀行

近年のアジア開発銀行（ADB：Asian Development Bank）から「カ」国電力セクターへの支援について、以下の表にまとめた。地方電化のための送配電網の強化が主な事業内容となっている。

表 2.6-2 近年の ADB から「カ」国電力セクターへの支援

事業名称	承認日	ADB 資金 (\$1,000)	目的	事業の内容
Rural Energy Project (formerly Rural Energy Pilot Project) (無償)	15 Jan 2013	AusAid 6,110	経済成長 持続的環境 気候変動	(i) Svay Rieng 州の 13,700 世帯の電化 (22 kV 中圧送電線延長、低圧配電網延長、メータ設置) (ii) Kampong Cham 州での高効率コンロ (90,000 件) の導入 (iii) EAC の能力開発
Medium-Voltage Sub-Transmission Expansion Sector Project (former name: Rural Electrification Project) (有償)	14 Dec 2012	45,000	経済成長	対象地域 (Kampong Thom、Kampong Cham、Siem Reap、Kandal、Banteay Meanchey 州) の電化を目的に (i) 22 kV 送電線を 2,110 km 延長 (ii) 上記プロジェクトの実施支援 (iii) EDC の効率向上
Rural Electrification Project (技協)	29 Nov 2010	1,300	経済成長	上記プロジェクト実施に向けての技協
CAM: CPTL POWER TRANSMISSION PROJECT (民間)	27 Jun 2007		経済成長 民間開発 地域連携	北西部 (Banteay Meanchey、Siem Reap、Battambang 州) の全国グリッドの拡張として (i) 115kV 送電線 (1 回線) の延長 221 km (ii) 3 変電所建設 (iii) 1 切替所建設
Second Power Transmission and Distribution Project (有償)	4 Oct 2006	20,000	経済成長	Sihanoukville での非効率なディーゼル発電を置き換えるための過去の送配電プロジェクトの延長として、 (i) 230kV 送電線延長 (Kampot から Sihanoukville) (ii) 関連変電所の建設と配電設備の設置 (iii) EDC の能力強化

出典：JICA 調査団作成

### 2.6.3 その他

その他のドナー等からの「カ」国電力セクターへの支援としては、以下のドイツ復興金融公庫（KfW）のものがある。

プロジェクト名： Electrification in Rural Cambodia

事業内容： Kampot 変電所新設、同変電所と既設 Takeo 変電所を 230kV 送電線で連系、中低圧送配電網の拡張による Takeo 州、Kampot 州の電化率向上、技術支援、等

総事業費： 3000 万 Euro、うち 2200 万 Euro を KfW が融資

工 期： 2010 年～2014 年

## 2.7 「カ」国と我が国の関係

「カ」国と日本国政府の関係は、1959年の日本・カンボジア経済技術協力協定の署名に遡るが、その後の内戦の時期を経て、1991年のパリ和平合意後、我が国初の国際連合平和維持活動（PKO：United Nations Peacekeeping Operations）を派遣するなど、我が国は「カ」国の復興・開発に積極的に関与している。経済援助においても、同年から災害緊急援助や草の根無償資金協力、翌年には一般無償資金協力、さらに1999年には円借款が再開されている。

現在の援助の重点分野としては、「経済基盤の強化」、「社会開発の促進」および「ガバナンスの強化」の3分野が挙げられている。

### (1) 経済基盤の強化

- 1) 経済インフラの整備として、道路ネットワークの整備、Sihanoukville 港周辺の整備、安定的な電力供給システムや情報通信基盤の整備、物流システム改善の支援など
- 2) 民間セクターの強化として、投資受入機関（カンボジア開発評議会）の機能強化および産業人材育成の支援、特に今後拡大が予想される製造業で必要とされるエンジニアなどの技術系人材や中間管理職の育成
- 3) 農業・農村開発として、灌漑施設の改修・整備、灌漑技術の能力向上、稲作技術向上のための支援、営農の改善および多様化への支援など。

### (2) 社会開発の促進

- 1) 上下水道インフラの整備として、地方主要都市の上水道整備の支援、プノンペンにおける下水道分野への支援
- 2) 保健医療の充実として、母子保健分野を中心とした支援
- 3) 教育の質の改善として、理数科教育を通じた小・中学校教員研修の質の改善の支援、
- 4) 対人地雷除去として、「2010-2019年地雷対策国家戦略」の目標達成の支援

### (3) 社会開発の促進

民法・民事訴訟法関連法案の整備、司法関係者の能力強化についての支援、公共財政管理、国税および関税分野の政策・制度改善・人材育成に資する支援など

また、近年の電力分野での具体的な支援としては、以下のような事業が実施されている。

<b>有償資金協力</b>	
平成 26 年度	プノンベン首都圏送配電網拡張整備事業
平成 18 年度	メコン地域電力ネットワーク整備計画(カンボジア成長回廊)
<b>無償資金協力</b>	
平成 24 年度	ラタナキリ州小水力発電所建設・改修計画
平成 21 年度	太陽光を活用したクリーンエネルギー導入計画
<b>技術協力プロジェクト</b>	
平成 22 年度	モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト
平成 16 年度	電力セクター育成技術協力プロジェクト
<b>開発計画調査型技術協力</b>	
平成 19 年度	カンボジア水力開発マスタープラン調査
平成 16 年度	再生可能エネルギー利用地方電化マスタープラン調査
<b>専門家派遣</b>	
平成 19 年度	「電力セクター計画」長期専門家
<b>有償技術協力</b>	
平成 24 年度	送変電システム運営能力強化プロジェクト

出典：JICA ナレッジサイト

## 第3章 本事業の必要性と妥当性

## 第3章 本事業の必要性と妥当性

### 3.1 プノンペン系統の課題と本事業の位置づけ

#### 3.1.1 プノンペン系統の現状と課題

「カ」国の電力系統は、230kV/115kV 送電線で接続された National Grid、隣国（ベトナム、タイおよびラオス）と中圧配電線で接続された系統、独立系統の3つの種類に分けられる。

「カ」国の主要電力系統はプノンペンを含む National Grid である。この系統ではベトナム連系線から供給される電力を始め、Kampot 地域、西部地域の水力発電電力も 230kV 基幹送電線を通じて大需要消費地であるプノンペン地域に送電されている。電力系統の主要課題としては、プノンペン系統でのプノンペン市への電力供給に起因した技術的課題を抱えている。

大需要消費地であるプノンペン首都圏における電力供給に起因した技術的課題は以下の通りである。

- (1) 乾季における計画停電の多発
- (2) ベトナム系統の遮断に伴う系統の不安定化
- (3) プノンペン市内変電所(115/22kV)の変圧器容量の不足
- (4) プノンペン外輸系(115kV 系統)の冗長性の不足

#### (1) 乾季における計画停電の多発

2008年～2013年の停電発生状況を表 3.1-1 に示す。これは原因別の停電回数および停電時間を表しており、最下段はその合計を示している。2013年のデータは4月までの実績で、停電回数及び停電時間の半分強は、供給力不足による停電となっている。2008年の供給力不足が2009年のベトナムからの電力輸入により2009年、2010年と供給力不足による停電は改善されたが、2011年以降、ベトナムからの電力輸入量の上限があるため、需要増加により停電回数、停電時間が、増加の傾向を続けている。参考に日本における一戸当りの年間(2007年度)の停電時間は16分、停電回数は0.14回と「カ」国の100分の1以下である。



表 3.1-1 要因別の停電回数及び時間

	Cause Description	2008		2009		2010		2011		2012		2013 (Data by April)	
		SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
		TIMES	Minutes	TIMES	Minutes	TIMES	Minutes	TIMES	Minutes	TIMES	Minutes	TIMES	Minutes
BO	Generator fault	1.0	205.0										
	Other	1.0	267.0	5.0	485.5	1.0	30.0	1.0	17.0	1.0	55.0	1.0	104.0
	<b>Total</b>	<b>2.0</b>	<b>472.0</b>	<b>5.0</b>	<b>485.5</b>	<b>1.0</b>	<b>30.0</b>	<b>1.0</b>	<b>17.0</b>	<b>1.0</b>	<b>55.0</b>	<b>1.0</b>	<b>104.0</b>
CUT	Generator	2.1	64.0	1.3	34.1	0.3	9.2	0.2	5.2	0.7	14.0	1.1	19.4
	Power lack	101.4	11,001.5	41.3	3986.7	12.0	920.3	49.4	3,979.5	64.0	6,378.5	55.3	4,693.8
	Over load									3.8	320.2	7.9	933.7
	Install new power network	0.2	28.7	0.6	136.0	0.8	112.2	1.5	165.8	0.9	113.2	0.9	150.5
	Install electrical equipment	0.2	32.5	0.2	28.6	0.5	62.3	0.1	20.5	0.3	31.1	0.8	163.5
	Repair network	1.4	240.0	0.9	208.7	2.1	452.6	4.2	591.1	2.5	297.7	3.0	483.1
	Repair electrical equipment	0.1	12.2	0.3	44.6	0.9	116.8	0.4	43.0	0.2	21.3	1.1	220.5
	Other incidents	0.1	16.7	0.9	130.1	1.2	109.5	3.7	349.2	3.4	317.3	2.3	194.2
	Maintenance electrical equipment	0.1	2.3	0.1	2.3	1.1	65.9	1.0	81.2	0.7	95.4	1.1	59.7
	Trip CB	1.6	57.6							0.5	25.4	0.1	2.8
	Trip 11.1, 11.2	0.7	19.1										
	<b>Total</b>	<b>107.8</b>	<b>11,474.7</b>	<b>45.5</b>	<b>4,571.1</b>	<b>19.0</b>	<b>1,848.8</b>	<b>60.6</b>	<b>5,235.5</b>	<b>76.9</b>	<b>7,614.0</b>	<b>73.4</b>	<b>6,921.1</b>
Trip	Generator fault	1.2	30.2	0.5	4.8			0.1	0.4			0.1	0.3
	Wave of Frequency			0.3	1.8	0.1	0.4						
	Power lack	0.4	14.7	0.0	0.3								
	Over load	0.6	7.4	0.7	2.3	2.4	19.3	1.7	78.1	1.1	88.4	0.4	7.8
	Network Fault												
	Overhead line, Cable fault	1.4	105.2	0.6	54.1	1.6	159.5	1.3	85.6	1.7	156.3	1.1	95.7
	Electrical equipment fault	0.5	24.6	1.2	143.0	1.4	107.6	0.7	27.4	1.4	54.3	1.1	172.8
	Have affected from another feeder	0.2	3.7	0.3	3.9	0.1	4.2	0.0	0.1	1.0	17.4	0.3	13.2
	Unknown fault	7.4	149.4	11.2	251.4	12.8	199.0	16.7	299.4	18.3	524.0	19.0	404.7
	Digging	0.1	9.4	0.1	8.3	0.2	22.1	0.1	9.4	0.2	18.8	0.1	17.8
	Animal	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	2.7	0.4	13.0	0.2	3.4	0.2	8.6
	Tree or Something	0.2	9.3	0.4	25.2	1.2	58.9	1.2	47.0	0.8	35.6	0.7	20.1
	Lightning	0.0	3.7			0.0	10.9	0.4	18.8	0.1	1.9	0.0	0.0
	Rain, Wind	1.5	23.3	1.9	32.8	1.8	32.7	0.5	6.1	2.1	50.4	1.4	27.9
	Other fault	0.8	25.3	0.3	6.9	0.5	19.1	0.4	25.3	0.2	3.0	0.2	15.3
	Trip GS1									1.2	38.9	1.9	35.5
	Trip GS2									0.1	2.1	0.1	4.7
	Trip GS3									0.0	1.6	0.0	1.3
	Trip GS4									0.0	0.1		
	<b>Total</b>	<b>14.2</b>	<b>406.4</b>	<b>17.6</b>	<b>535.6</b>	<b>22.2</b>	<b>636.5</b>	<b>23.5</b>	<b>610.6</b>	<b>28.4</b>	<b>996.1</b>	<b>26.6</b>	<b>825.8</b>
<b>Grand Total</b>	<b>124</b>	<b>12,353</b>	<b>68</b>	<b>5,592</b>	<b>42</b>	<b>2,515</b>	<b>85</b>	<b>5,863</b>	<b>106</b>	<b>8,665</b>	<b>101</b>	<b>7,851</b>	

注) SAIFI は一戸当りの停電回数、SAIDI は一戸当りの停電時間を示す。

出典：「カンボジア国電力セクター基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート、2012年3月」及び JICA 調査団作成

(2) ベトナム系統の遮断に伴う系統の不安定化

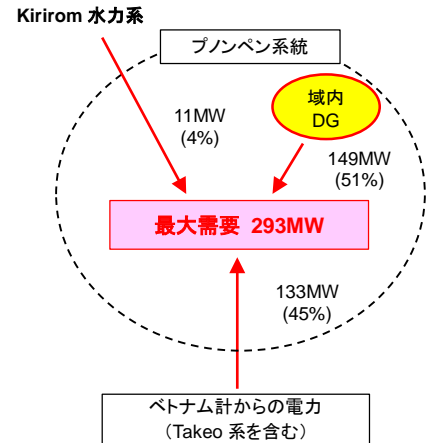
現状はベトナムから購入する電力の割合が大きいため、ベトナムとの連系線が事故等により遮断された場合にはプノンペン系統の周波数は低下し、プノンペンの全系統が停電してしまう可能性が高く、安定供給上大きなリスクを抱えている状況である。実際に 2010 年には人為的なミスも重なってプノンペンの全系統が停電したことがあった。

過去最大電力が発生したときのプノンペン系統に供給している電源の構成を図 3.1-1 に示す。供給力の約 45%をベトナムからの電源に頼っているため、ベトナム系統遮断時に市内系につながる域内の独立系発電事業者 (IPP : Independent Power Producer) 等のディーゼル発電機による単独系統に安全に移行できるようにするためには、これとほぼ同量の負荷電力となるよう負荷を遮断するような系統制御が必要となっている。

(3) プノンペン市内変電所 (115/22kV) の変圧器容量の不足

2011 年 10 月 24 日 10 時 00 分に記録された過去最大需要 350MW (計画停電 50MW、実供給 300MW) におけるプノンペン市内系統の潮流を示す。市内負荷に供給する GS1、2、3 の 115/22kV 変圧器容量はそれぞれ 100MVA (50MVA × 2) であるが、変圧器 1 台の停止に対して供給力を確保するには配電系統での負荷切替えが必須である。一方、この地域の電力需要の伸びが大きいことを考慮すると、近い将来変圧器容量による供給制限が発生する危険性もある。

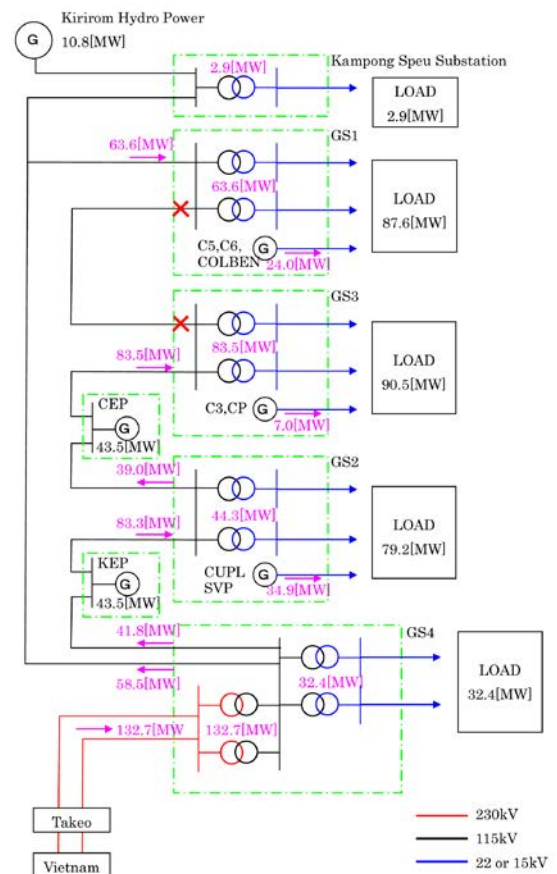
この課題に対しては変圧器を増設する必要があるが、既設変電所には増設スペースがないことや、22kV 配電系統の引出ルートが確保しにくい



最大電力発生時の電源構成 (2011/10/24 10:00)

出典：JICA 調査団作成

図 3.1-1 最大電力発生時の電源構成



出典：「カンボジア国電力セクター基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート、2012年3月」

図 3.1-2 プノンペン市内潮流図 (2011年10月24日10時00分)

こと、市内中心部の負荷が増加した場合には抜本的な対策にならないことなどを考慮すると、既設変電所から 115kV 系統を市内向けに引き出して既設変電所より負荷中心に近い市内内部に変電所を新設することが有利と考えられる。

市内中心部に変電所を新設するに当たっては、下記の点を留意して地点および設備設計を行う必要がある。

**市内中心部に変電所を新設する場合の留意点**

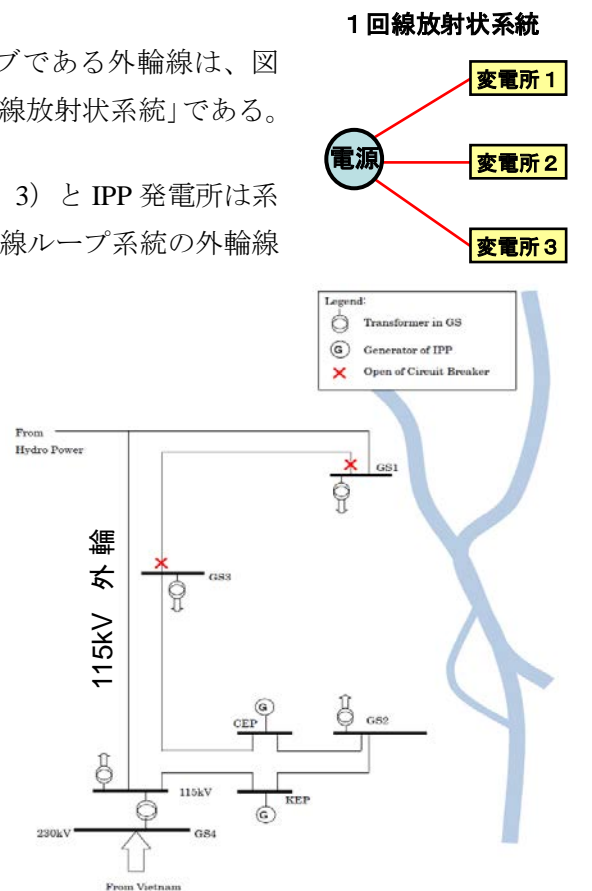
- ・ 用地確保上有利な公有地を活用することや、ガス絶縁開閉装置 (GIS: Gas Insulated Switchgear) やガス冷却変圧器の採用などによりコンパクト化を図ること。
- ・ 送電・配電引出しルートを確認するため歩道を有する道路に面した用地を確保すること。
- ・ 将来の負荷増加を見越して、主要道路などの重要横断箇所や変電所引出付近は先行的に 22kV 配電線管路や 115kV 送電管路を設置しておくこと。
- ・ 風水害等の恐れがある場合は十分配慮する事。

(4) プノンペン外輪系 (115kV 系統) の冗長性の不足

現在のプノンペン市内に電力を供給するハブである外輪線は、図 3.1-3 に示すように最も冗長性の少ない「1 回線放射状系統」である。

プノンペン市内に供給する変電所 (GS1、2、3) と IPP 発電所は系統構成上では GS4 を起点とする 115kV 1 回線ループ系統の外輪線を構成しているが、運用上は GS1 と GS3 間で開放された放射状系統となっている。これは線路保護リレー上の制約によるものと思われるが、このような構成では外輪線の 1 回線事故により市内系統の一部が停電してしまうため供給信頼度上好ましくない。

外輪線のループ運用を可能にするには電流差動方式等を用いた線路保護リレーに変更すればよいが、前述のように市内系 22kV に降圧する GS1 から GS4 の変圧器容量自体が不足していることや変圧器増設が困難であることを鑑みると、市内に変電所 (115kV/22kV) を新設することが必要である。よって、新設変電所への給電線計画と



出典：JICA 調査団作成

図 3.1-3 プノンペン外輪系 (115kV 系統)

合わせて 115kV 送電系統の冗長性を確保することが有利と判断する。

### 3.1.2 本事業の位置づけ

上述のような技術的課題を抱えたプノンペン系統において、第 1.1 節「業務の背景」で述べたように JICA により 2012 年 11 月から 2013 年 11 月まで「プノンペン送配電網整備事業準備調査」が実施され、送電・変電・配電容量の拡大のため、Olympic Stadium 及び EDC 本社への 115/22kV 変電所の新設、GS1 及び GS3 の改修、115kV 地中送電線の整備、22kV 地中送電線の整備の検討が行われ、同調査に基づいた事業の実施が予定されている。また、EDC は独自に Hun Sen Park への 115/22kV 変電所の新設を予定している。一方、同調査によれば、こうした事業の実施以降も、プノンペン首都圏の電力需要の拡大に対応するためには、さらなる送電・変電・配電設備の整備が必要であるとされており、本調査は、上述の技術的課題のうち、特に(3)、(4)に対応して、プノンペン首都圏において、変電所の新增設、送電線・配電線の敷設を行うことにより、首都圏の電力供給の安定性を高めることを目的として実施する。

## 3.2 プノンペン系統の増強計画

### 3.2.1 プノンペン市および周辺地域への電力供給

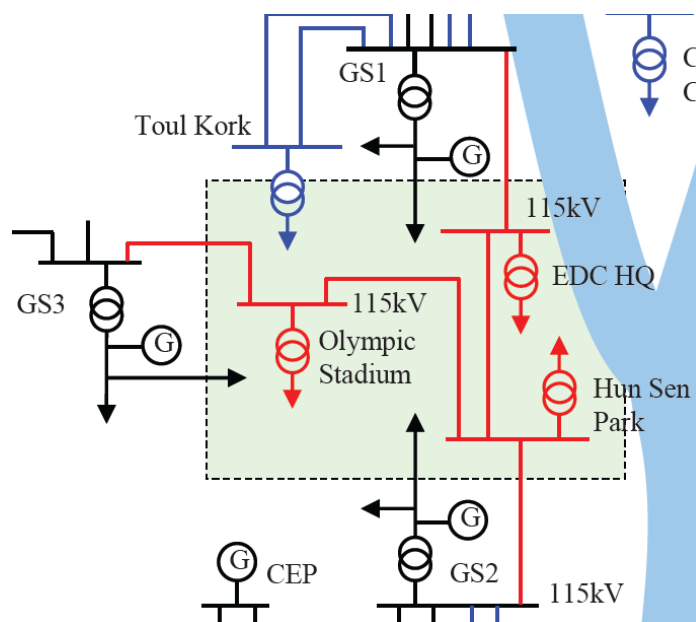
#### (1) プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業フェーズ 1

上述のような技術的課題を持つプノンペンの系統に対して、2012年11月から2013年11月まで JICA は「プノンペン送配電網整備事業準備調査（フェーズ 1 調査）」を実施、送配電網および変電所容量の拡大のため、表 3.2-1 に示す設備増強が検討された結果、図 3.2-1 に示す送配電網整備事業計画が立案された。各地中送電線のルート長を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-1 プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業フェーズ 1 の主な設備増強

115 kV 地中送電線	GIS 変電所
第一変電所 (GS1) - EDC 本社	EDC 本社内 (115/22kV, 75MVA 変圧器 2 台)
第二変電所 (GS2) - Hun Sen Park	Hun Sen Park 内 <sup>1</sup> (115/22kV, 75MVA 変圧器 2 台)
第三変電所 (GS3) - Olympic Stadium	Olympic Stadium 内 (115/22kV, 75MVA 変圧器 2 台)

出典：JICA 調査団作成



出典：「カンボジア国プノンペン送配電網整備事業準備調査ファイナルレポート」、2013年11月

図 3.2-1 プノンペン首都圏送配電網拡張整備事業計画フェーズ 1 (赤線部分)  
(但し、GS2-Hun Sen Park 間及び Hun Sen Park S/S は別事業)

1 調査中に同事業とは別途、開発されることとなった。

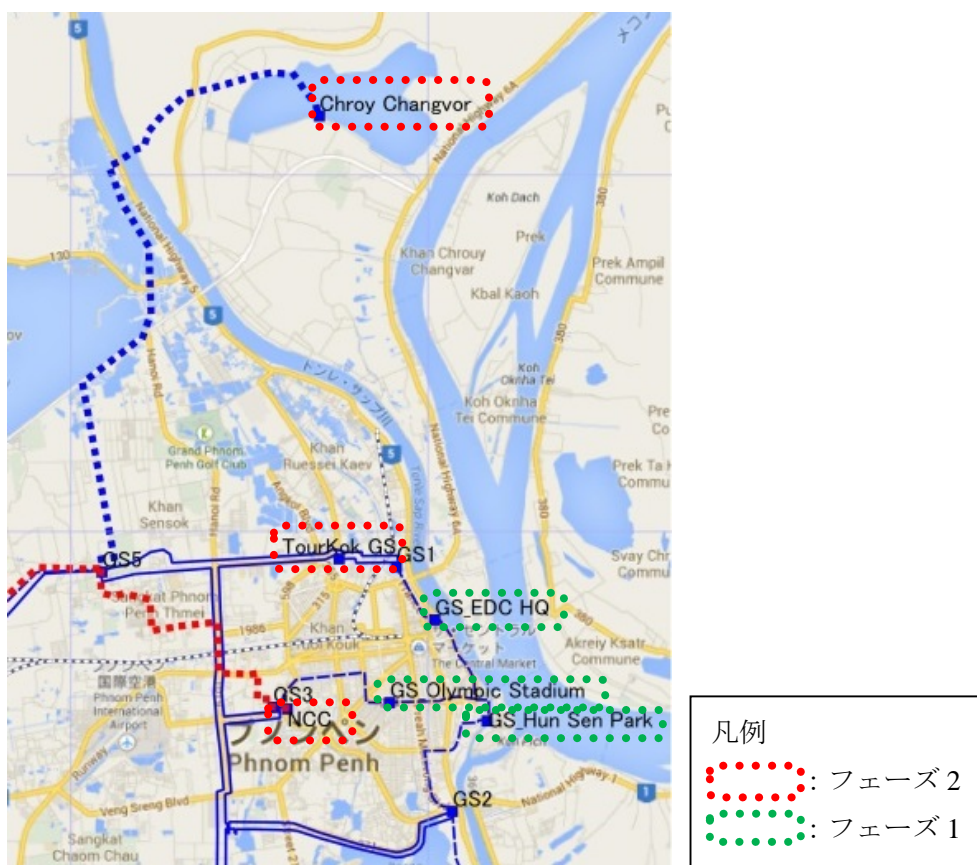
表 3.2-2 115kV 地中送電線ルート案

Location	Route distance [m]
GS1 – EDC S/S	2,330
EDC S/S – Hun Sen Park S/S	3,330
Hun Sen Park S/S – GS2	3,810
Olympic Stadium S/S – Hun Sen Park S/S	3,330 <sup>2</sup>
GS3 – Olympic Stadium S/S	4,370
Total	17,170

出典：「カンボジア国プノンペン送配電網整備事業準備調査ファイナルレポート」、2013年11月

### 3.2.2 計画中変電所の状況

プノンペン首都圏送配電網整備事業において、新規に計画されている変電所は6地点ある。その位置図を図 3.2-2 に示す。



出典：JICA 調査団作成

図 3.2-2 プノンペン市周辺の電力供給

2 調査中に同事業とは別途、開発されることとなった。

これらのうち、フェーズ2の対象である計画地点について、2014年6月現在の状況を以下に示す。

#### (1) 中央給電指令所(NCC: National Control Center)地点

プノンペン中心部に近いEDC所有の敷地であり、敷地内北側にNCCがある。大通りに面したゲートにはガードマンが配置されており、一般人の立ち入りは制限されている。周辺は市街地であり商店や住居が存在するが、EDCの内燃力発電所であるC3発電所および営業所とも隣接している。230kV変電所の建設用地としてGIS変電所であれば十分な面積が確保可能である。

#### (2) Toul Kork 地点

EDCが確保した変電所建設用地は、GS1とGS5間の送電線ルートである地域内の幹線道路に面する、奥行き方向に細長い土地である。敷地内に建物は無く、バレーボールコートがあるのみ。出入り口の門は施錠されている。周辺は住宅地および商店があり、道路沿いにはそれらが密集している。

#### (3) Chroy Changvar 地点

当該変電所が計画されている地区は、プノンペン中心部からTonle Sap川を渡った対岸の、スタジアムや住宅団地などの新都心構想に伴う大規模開発予定地域北側の湖に面した中央部付近とされているが、EDCによる地点選定および用地取得は今後行われる予定である。

EDCは用地取得に際し、115kV AIS<sup>3</sup>変電所としての所要敷地だけでなく、将来の230kV昇圧も考慮した敷地面積の確保を目指している。予定地エリアは低湿地帯のため、変電所用地とするためには盛土造成が必要となる。

### 3.2.3 Chroy Changvar 地区への電力供給

#### (1) Chroy Changvar 地区の開発構想

Chroy Changvar 地区は、プノンペン中心部からTonle Sap川を渡った対岸に位置している。プノンペン中心部からのアクセスが容易で比較的容易に行くことが可能であり、スタジアムや住宅団地などを大規模に開発する新都心構想がある。現在は、図3.2-3に示す写真のようにまだ未開発地域が多いが、片側2車線の道路が整備され、部分的にゴルフ場、ホテル等の開発が進行中である。当該地区の開発を促進させるためには、電力の供給量増加が不可欠である。

3 AIS : Air Insulated Switchgear (気中絶縁開閉装置)

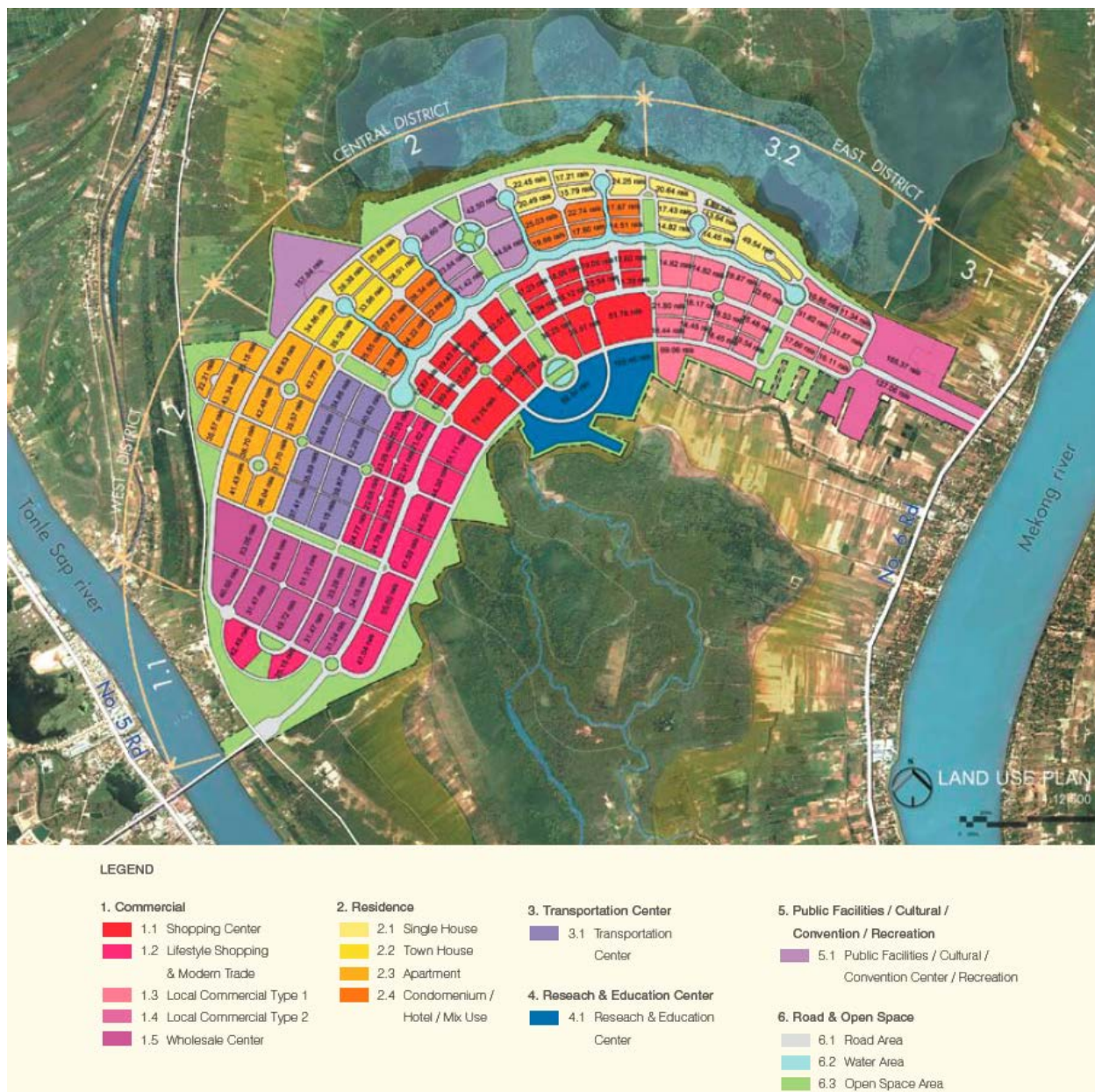


図 3.2-3 Development Master Plan at Chroy Changvar Area

(2) Chroy Changvar 地区への電力供給方式

Chroy Changvar 地区への電力供給方式としては、この地域の電力供給拠点として Chroy Changvar 地区内に 115kV 変電所を新設し、GS5 から 115kV 送電線で接続することを基本として送電方法の技術検討を行った。

特に、問題となる点は、新設変電所の位置及び Tonle Sap 川の横断方法である。



1) 新設変電所の位置

新設変電所の位置に関しては、以下の Plan が考えられる。

- ・ Plan 1 開発地域の北中央部
- ・ Plan 2 Garden City Bridge を渡った直近
- ・ Plan 3 開発地域の東端

それぞれの Plan の位置関係を図 3.2-4 に、比較した結果を表 3.2-3 に示す。



©2014 google

出典：JICA 調査団作成

図 3.2-4 新設変電所の位置案

表 3.2-3 新設変電所位置案の比較結果

	Plan 1	Plan 2	Plan 3
Advantage	- Cheap - More Flexibility for Future Plan	- Cheap	- Flexibility for Future Plan
Disadvantage	-----	- Less Flexibility for Future Plan - Flooding Area - Difficulty for land acquisition	- Difficulty for land acquisition - Expensive for Install cost

出典：JICA 調査団作成

Plan 1 将来の Chroy Changvar 北部地域開発及び EDC 将来構想への対応が容易である。

Plan 2 大規模開発エリア内に架空送電線を建設する必要はなく、連系送電線の建設費用が少ないが、洪水地域に位置しており対策が必要となる。また、北地域の開発が進んだ場合の配変電設備建設費及び北部に追加新設変電所が必要となる可能性がある。

Plan 3 開発地域内の送電線について地中化を要請される可能性がある。また、Plan 1 および Plan 2 に比べ地中送電線距離が長くなる。

但し、この開発地域へは 22kV 配電で十分送電可能な距離であり問題ない。また、送電ロス、配電網の建設コストについては各 Plan とも大差ないと考えられる。

Plan 3 については、交通要所にあるために地価が高騰しており、特に地点確保が困難であると考えられる。一方、Plan 3 地点は、Plan 2 地点に比べ地盤が高く、洪水対策は比較的容易と考えられる。Plan 1 については、変電所位置から北部開発への電力供給にも期待でき、まだ、北部開発は進展していないこともあり、用地取得が容易であると考えられる。将来系統への柔軟な対応性にも優れている。

以上、それぞれの Plan で優劣はあるものの、決定的な大差は無く技術的には各 Plan ともに可能である。それゆえ、何れの Plan にしても、ディベロッパーとの協議による変電所用地確保が重要な選定要因になると考えられるが、Plan 1 が最有力であり、比較結果からも推奨できる。

## 2) 新設変電所への系統接続方法

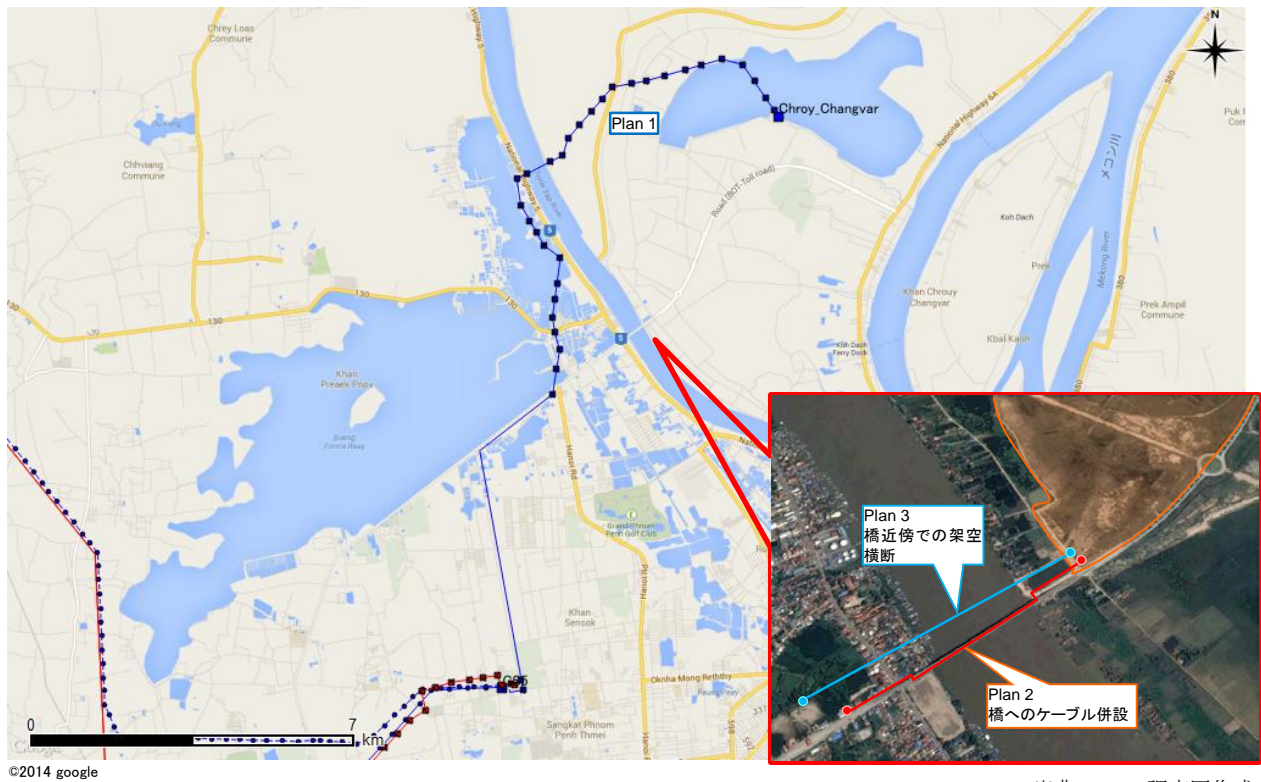
新設変電所への系統接続方法に関しては、以下の Plan が考えられる。

Plan 1 : Tonle Sap 川上流で架空線にて横断する。

Plan 2 : Garden City Bridge にケーブルを添架する。

Plan 3 : 架空線にて横断する。

それぞれの Plan の位置関係を図 3.2-5 に、比較した結果を表 3.2-4 に示す。



出典：JICA 調査団作成

図 3.2-5 新設変電所への系統接続のための河川横断方法案

表 3.2-4 新設変電所への系統接続案比較結果

	Plan 1 [OH T/L at north side of bridge]	Plan 2 [Cable]	Plan 3 [OH T/L near bridge]	Remarks
Construction Cost	[0]	[-]	[+]	
Smooth Construction	[+]	[0] (gateway of bridge inside)	[+]	
Maintenance	[+]	[0] (gateway of bridge inside)	[+]	
Land Acquisition	[0] (Checked by EDC)	[+]	? (Checked by EDC)	Land for steel tower
Environment (including compensation)	[++]	[0]	[+]	

[++] : Very good, [+] : good, [0] : fair, [-] : poor

出典：JICA 調査団作成

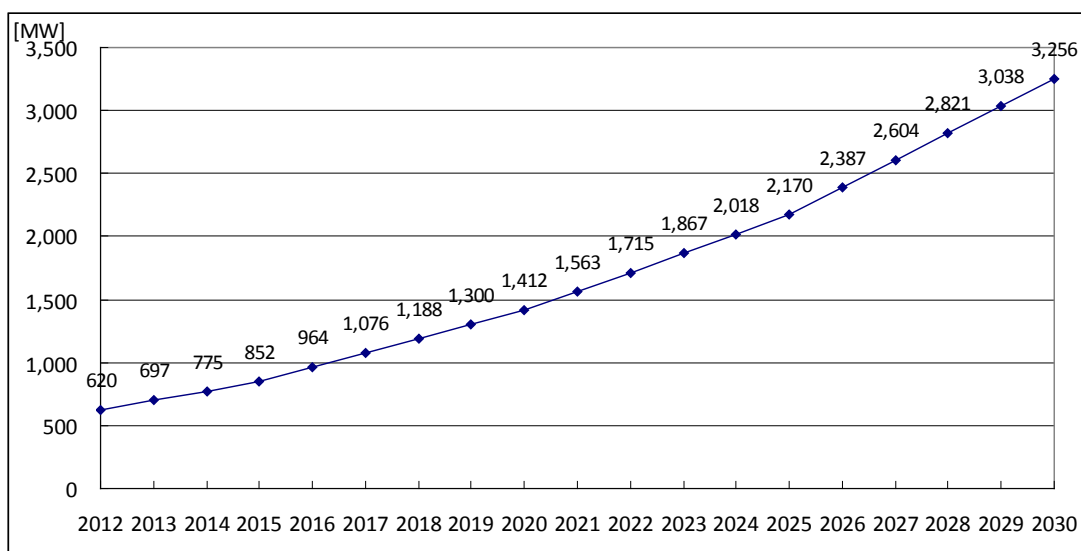
JICA 調査団としては、鉄塔用地の困難性、建設コスト低廉及び将来系統への対応容易性等から Plan 1 を推奨する。

### 3.2.4 プノンペン地区の電力需要想定

#### (1) 電力需要想定手法

現在、電力開発計画の改定作業に沿って「カ」国政府が主体となり電力需要想定改定作業が行われている。現在行われている手法は、国全体を対象とするマクロ手法である国際原子力機関（IAEA : International Atomic Energy Agency）が提供した MAED（Model for Analysis of Energy Demand）、および地方を対象とするミクロ手法であるフランスが供与した GEO SIM Planning Tool である。

MAED を使用した電力需要想定は、国内総生産（GDP : Gross Domestic Product）の伸び、人口の伸び、電化率、送配電ロスなどを考慮したもので、Base ケースである GDP の年伸び率 7%を見込んだ場合の 2030 年までの電力需要想定結果がでている。下図にその結果を示す。



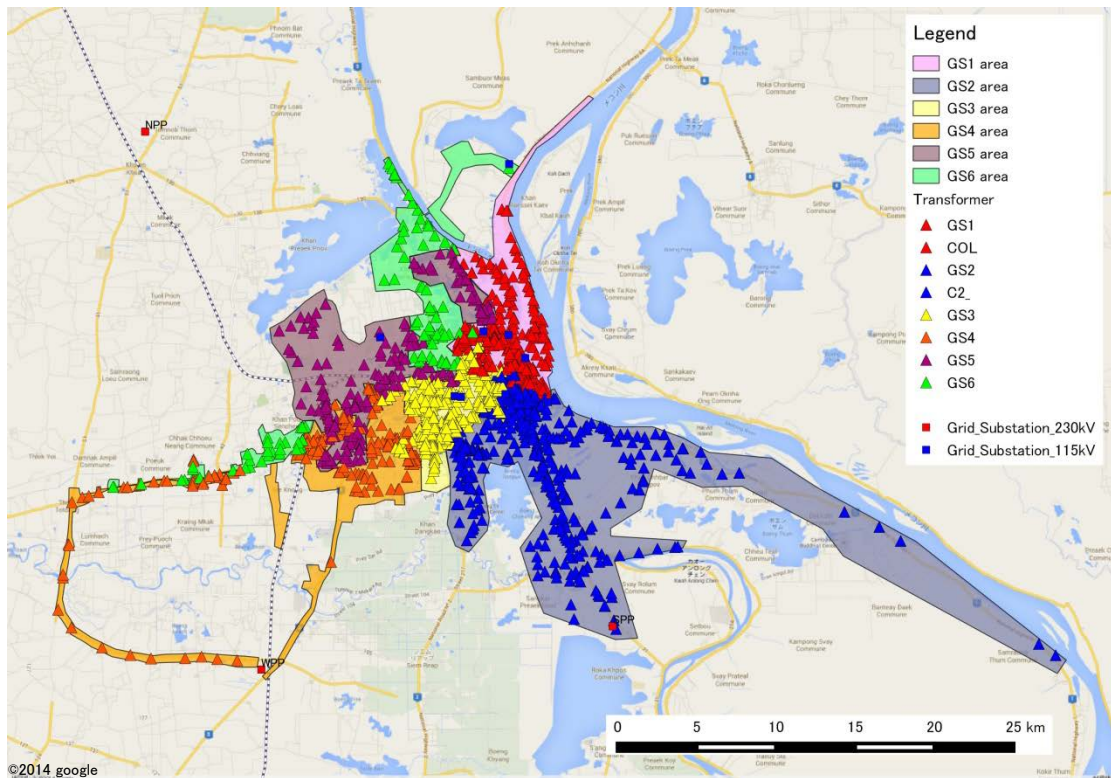
出典：EDC

図 3.2-6 「カ」国全体における電力需要想定結果(Base case)

## (2) プノンペンシステムの電力需要想定

### a) プノンペンシステムの現状と最大負荷

2014年3月末時点での各変電所の供給エリアを図3.2-7に示す。



出典：JICA 調査団作成

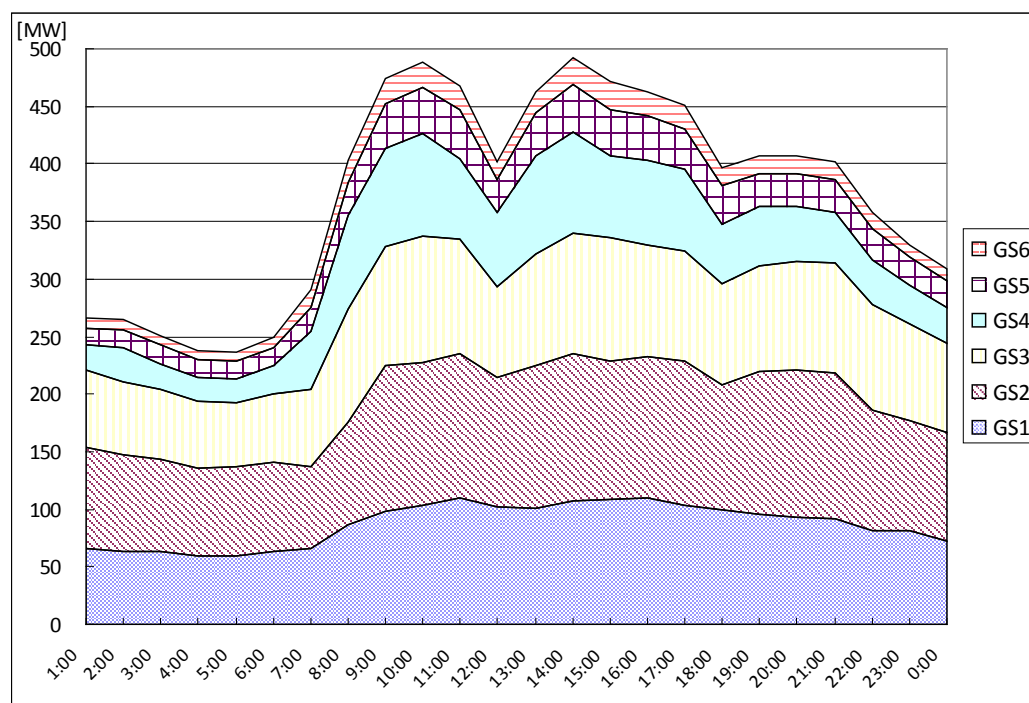
図 3.2-7 変電所別供給エリア(2014年3月)

2014年3月末時点で National Grid において最大負荷を記録している2014年3月31日の各変電所の負荷を以下に示す。最大負荷を記録している2014年3月31日10時時点での負荷は、488.2MWである。

表 3.2-5 プノンペン系統における各変電所の負荷(2014年3月31日(月))

	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5	GS6	Total
1:00	65.9	87.5	67.0	22.9	13.7	8.6	265.6
2:00	63.7	83.3	63.3	29.6	15.7	8.6	264.2
3:00	62.7	81.2	60.8	21.6	16.0	8.4	250.7
4:00	59.4	76.7	57.2	21.3	15.7	7.9	238.2
5:00	60.0	76.4	55.7	21.6	15.0	8.2	236.9
6:00	63.0	78.3	58.3	25.4	15.3	9.1	249.4
7:00	65.7	70.9	67.5	50.7	19.8	15.6	290.2
8:00	86.9	88.3	98.9	81.4	27.8	20.4	403.7
9:00	98.3	126.8	103.6	84.3	39.7	22.0	474.8
10:00	103.6	123.4	109.6	89.2	40.1	22.3	488.2
11:00	110.0	125.6	98.5	70.5	41.9	21.8	468.2
12:00	102.2	112.6	78.9	64.5	28.2	15.1	401.5
13:00	101.3	123.6	97.2	84.4	37.4	19.2	463.2
14:00	107.3	128.0	104.9	87.5	41.1	23.1	491.9
15:00	108.9	119.7	107.6	70.9	40.4	23.8	471.3
16:00	109.5	123.2	96.8	73.2	38.6	20.7	462.1
17:00	103.4	125.2	96.2	71.0	34.6	20.2	450.6
18:00	98.9	109.4	87.0	52.3	32.9	16.0	396.5
19:00	95.7	124.3	92.0	50.7	28.8	15.4	406.9
20:00	92.5	128.1	94.2	48.3	28.4	16.0	407.5
21:00	91.5	127.1	95.3	43.9	28.8	14.6	401.2
22:00	80.9	104.9	91.7	38.5	27.6	13.6	357.3
23:00	81.0	95.7	84.3	33.6	24.6	10.7	329.9
0:00	72.0	95.2	76.4	31.7	22.9	10.1	308.2

出典：EDC



出典：EDC

図 3.2-8 プノンペン系統における各変電所の負荷(2014年3月31日(月))

b) プノンペン系統における大型プロジェクトの現状

また、現地新聞や報道から集約したプノンペンにおける大型プロジェクトの情報を表3.2-6に示す。Camkoシティに代表されるように、経済状況に応じてプロジェクト期間を延長しており、地域開発プロジェクトの多くの完了時期が未定である。

表 3.2-6 プノンペンにおける大型開発プロジェクト一覧

Name	Developer	Project cost [MillionUS\$]	Place	Area	Completion	Remarks
Garden City Project	LYP Group		Chroy Changvar commune	1,000ha	Unknown	
Chroy Chang Va Development Zone (Chroy Changvar City)	Oversea Corporation Investment of Cambodia (OCIC) (subsidiary of Canadian Bank)	1,600	3 Sangkats, Sangkat Chroy Chang Va, Prek Leap and Prek Ta Sek of Russey Keo District	387ha	Unknown	Botanic Garden 60ha, Stadium 40ha, Conference 45ha, housing etc. 162ha
AZ satellite city			Cheung Ek Lake	290.4ha	Unknown	50.7MW for total
Booyoung Town	Booyoung Group (South Korea)	1,100		270ha	2020 later	40 apartments and 7 complexes, 17,760 units
Grand Phnom Penh International City	YLP Gr. (Local) And Ciputra Gr. (Indonesia)	600	Kmounh commune, Russei Keo District	260ha	Unknown	70ha Golf course, 4,000 units of house
Olympia City	OCIC	250	Olympic Stadium	8ha	2016 (15Fx5, Shopping Mall)	13 skyscrapers (55F, 36Fx2, 20Fx5, 15F (358 units, 390 units) x 5), Olympia Plaza 7F
Phnom Penh City Center (Boeung Kok Lake Development)	Shukaku Inc.	1,500	Daun Penh District and Toul Kok District	133ha	Unknown	
Camko City	World City Company (South Korea)	2,000	Boeung Pong Development zone, Russei Keo District	119ha	Unknown	1300 units for the 1st and 2nd phase, 140 villas and 386 units for 3rd
Koh Pich Diamond Island City	OCIC	300	Tonle Bassac River, Chamkarmon District	100ha	Unknown	168 units for the first phase
Vattanak Capital	Vattanak Bank		next to Freedom park		2014	39F
Hongkong Land project	Hongkong Land		next to Freedom park		17F(2018), 27F(2016), 37F(2020)	17F, 27F, 37F
Casa Meridian Condo	OCIC				2017	33Fx2 (188 units and 16 shops per each)
the Bridge	Oxley Holdings (Singapore), World Bridge Land (Cambodia)	300	south of Australian embassy in Tonle Bassac commune, Chamkarmon district	1.5ha	2018	45Fx2 (700 units, 4F super market, offices)
Parkson	Parkson Holding Bhd (Malaysia)		opposite side of Phnom Penh International Airport	70,000m <sup>2</sup>	2017	
Aeon Phnom Penh Mall	Aeon (Japan)	205	Sothearos Blvd.	68,000m <sup>2</sup>	June of 2014	5 malls more in Phnom Penh
Times Centre	Taiwan and local		near Olympic Stadium at the west end of Sihanouk Blvd.	8,557m <sup>2</sup>	2017	38Fx2, 40F (1,583 units, etc.)

出典：JICA 調査団作成

そのため、各地域開発プロジェクトの電力需要想定は、平成23年度インフラ・システム輸出促進調査等事業（円借款・民活インフラ案件形成等調査）「カンボジア・プノンペン環境共生スマートコミュニティ導入調査報告書」（2012年11月）で調査したAZ Satellite Cityの例を参考に、開発地区の開発面積から求め、2030年に完了することを前提に各年の負荷を求めた。また、高層ビルディングの負荷は、すでに見込まれているものを除き、

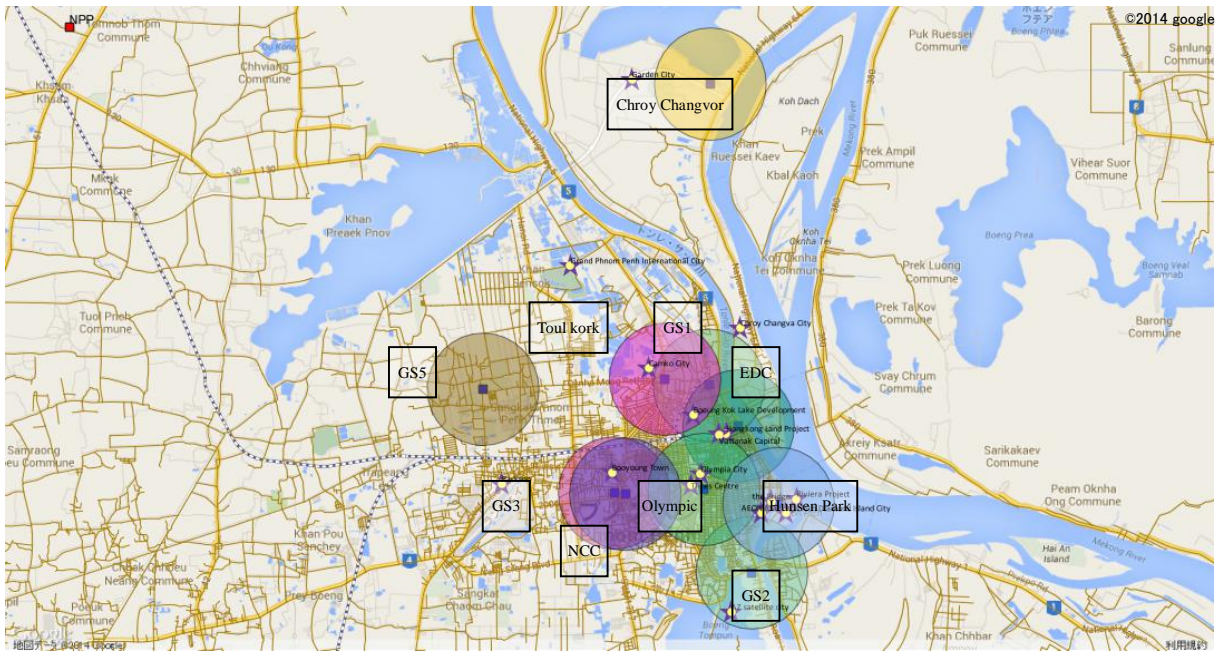
現在供給している Canadian Tower（30 階建）の負荷が 3MW 程度であることから、各プロジェクトの完成年に 3MW/棟が系統から供給されることとした。以上の結果から 2020 年までの大型プロジェクトの電力需要想定結果と図 3.2-9 から判断したそのプロジェクトに供給する変電所を表 3.2-7 に示す。

**表 3.2-7 2020 年までの大型プロジェクトの電力需要想定結果**

Name	Final Demand [MW]	Supplying GS	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Garden City Project	174.6	Chroy Changvar	10.9	21.8	32.7	43.6	54.6	65.5
Chroy Changvar Development Zone (Chroy Changvar City)	67.6	Chroy Changvar	4.2	8.4	12.7	16.9	21.1	25.3
AZ Satellite City	50.7	GS2	3.2	6.3	9.5	12.7	15.8	19.0
Booyoung Town	47.1	NCC	2.9	5.9	8.8	11.8	14.7	17.7
Grand Phnom Penh International City	45.4	Toul Kork	2.8	5.7	8.5	11.3	14.2	17.0
Olympia City	39.0	Olympic Stadium		15.0	15.0	18.0	21.0	24.0
Phnom Penh City Center (Boeung Kok Lake Development)	23.2	Toul Kork	1.5	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
Camko City	20.8	Toul Kork	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8
Koh Pich Diamond Island City	17.5	Hun Sen Park	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.5
Vattanak Capital	10.0	EDC	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Hongkong Land Project	9.0	EDC		3.0	3.0	6.0	6.0	9.0
Casa Meridian Condo	6.0	Hun Sen Park			6.0	6.0	6.0	6.0
the Bridge	6.0	Hun Sen Park				6.0	6.0	6.0
Parkson	6.0	GS5			6.0	6.0	6.0	6.0
Aeon Phnom Penh Mall	5.8	Hun Sen Park	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Times Centre	4.1	Olympic Stadium			4.1	4.1	4.1	4.1
<b>Total</b>			<b>43.9</b>	<b>89.9</b>	<b>133.8</b>	<b>173.8</b>	<b>204.7</b>	<b>238.6</b>

出典：JICA 調査団作成





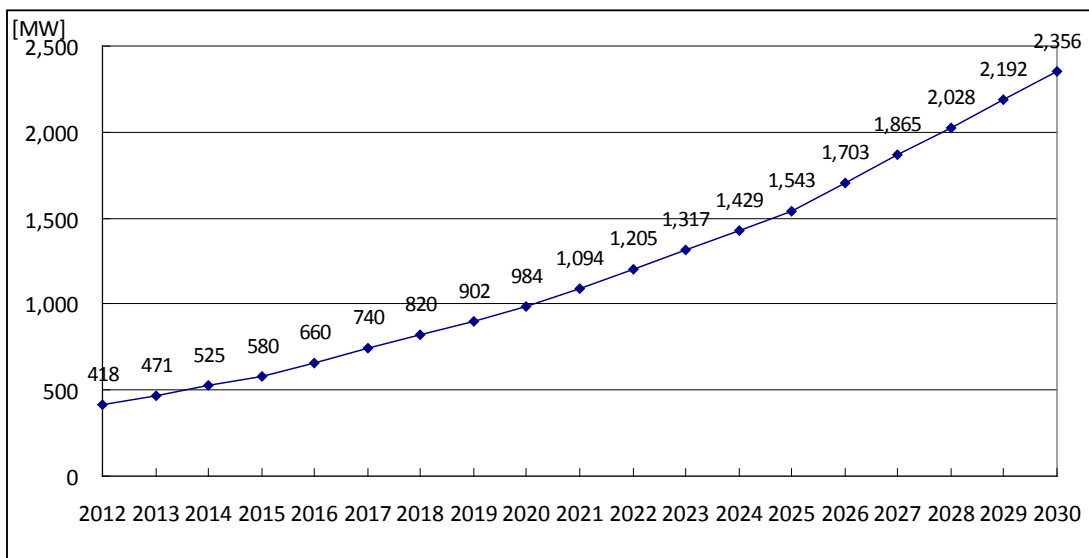
\*円は変電所から半径 2km を表示。

出典：JICA 調査団作成

図 3.2-9 プノンペン市内変電所と大型プロジェクト位置図

c) 電力開発計画におけるプノンペン系統の電力需要想定

MAED を用いたプノンペン系統（プノンペンおよび Kandal 州）における電力需要想定結果（Base case）を図 3.2-10 に示す。



出典：EDC

図 3.2-10 プノンペン系統における電力需要想定結果 (Base case)

電力需要想定結果は、発電端での需要を示しているため、一般的な送電ロス率 3%を引いてプノンペン系統全体の変電所での電力需要を算出し、各変電所の大型プロジェクトと既設フィーダ負荷および変圧器容量を考慮して、2030年までの各変電所の電力需要想定を行った。その結果を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8 プノンペン系統の各変電所における最大電力需要想定

(単位：MW)

Name	Current status	Transformer Capacity	2014 (March 31)	Divided demand	2020	2025	2030
National Demand				699.5	1,412	2,170	3,256
GS1	Existing	75MVAx2	103.6	28.7	86	134	205
GS2	Existing	50MVAx3	123.4	87.0	106	166	254
GS3	Existing	50MVAx3	109.6	77.2	103	161	246
GS4 (WPP)	Existing	50MVAx2	89.2	79.0	86	135	206
GS5 (SWS)	Existing	50MVAx2	40.1	40.1	78	123	188
GS6 (NPP)	Existing	50MVAx2	22.3	22.3	44	68	104
GS7 (SPP)	Under construction	50MVAx1		10.2	20	31	48
EDC HQ	Phase 1 project	75MVAx2		49.7	84	131	201
Hunsen Park	Under preparation	75MVAx2		16.5	76	120	183
Olympic Stadium	Phase 1 project	75MVAx2		16.3	60	94	144
NCC	Phase 2 project	75MVAx2*		30.0	57	89	136
Toul kork	Phase 2 project	75MVAx2*		20.8	57	90	138
Chroy Changvar	Phase 2 project	75MVAx2*		10.6	98	153	234
		*tentative capacity		488.2	954	1,496	2,285

出典：JICA 調査団作成

今回の調査におけるターゲット年である 2020 年においては、この調査で検討する新設変電所の変圧器容量を含めると十分な供給力が見込めるが、2025 年には最大電力需要が 1,496MW となって単純にプノンペン系統の変圧器容量の総和 1,475MVA (NCC、Toul Kork、Chroy Changvar 変電所が 75MVA × 1 台の場合) を超過するため、変電所の新設もしくは変圧器の増設を検討する必要がでてくる。

### 3.3 プノンペン系統の系統解析

#### 3.3.1 解析条件

本調査の目的であるプノンペン送配電網整備事業の概略設計の対象となる送変電設備整備計画案の検討・評価のため、先に述べたプノンペン市内の2020年までの電力需要想定を考慮し、プノンペン系統の系統解析を実施する。系統解析には、EDCにおいても使用されている系統解析ソフトウェアであるPSS®E（SIEMENS社製）を使用する。

本調査では、既に計画されている新設設備及び本事業で計画される新設設備の全てが2020年のピーク時期までに運開すると想定し、2020年を系統解析の検討対象年とする。

一般的に系統の潮流状況は、ピーク時とオフピーク時によって様相が異なるので、系統解析も両者の断面に対して実施される。しかし、プノンペンの場合、次のような特殊な事情から、ピーク時が最も過酷な重潮流条件であると想定されるので、本調査では、ピーク時のみを検討対象とする。すなわち、プノンペンには、重油を使うIPP発電所であるCEP及びKEPが市内にあり、豊水期や安価な輸入電力が調達可能な時には、経済性の理由からこれらのIPP発電所が停止される。その時、プノンペン市内の電力需要は、周辺地域から230kVまたは115kV送電線によって供給されることになるので、IPP発電所停止中で、プノンペン市内の電力需要が大きいピーク時が最も過酷な重潮流条件となる。周辺地域からの電力供給は、プノンペン市内の北部からの供給と南部からの供給に大別される。

すなわち、

- ・南部：ベトナムからの輸入電力及びSihanoukville地域に開発予定の石炭火力発電所
- ・北部：「カ」国中西部で開発予定の水力発電所

豊水期には、北部電源と南部電源の出力調整が可能であるが、乾期には、南部電源へ依存せざるを得なくなり、調整の自由度は、ほとんどなくなる。よって、本調査では、乾期を検討対象とする。

#### 3.3.2 信頼度条件

本調査で適用する信頼度基準を表3.3-1に示す。

表 3.3-1 信頼度基準

設備健全時	◇ 潮流が設備の常時容量を超過しない。 ◇ 電圧が適正に維持されている。
設備故障時（N-1 故障）	◇ 潮流が設備の短時間許容容量を超過しない。

出典：JICA 調査団作成

なお、設備健全時の電圧適正範囲は、EDC では、基準電圧の±10%以内と定められているが、「カンボジア国電力セクター基礎情報収集・確認調査ファイナルレポート（2012年3月）」によれば、115kV 及び 22kV 系統の電圧は、実績として概ね基準電圧の±5%以内に収まっているが、230kV 系統の電圧は、ベトナムの基準電圧が 220kV であるため、低めに推移していると報告されている。よって、本調査では、設備健全時の 115kV 系統電圧を 115kV±5%程度 の間の値に設定する。また、設備健全時に 230kV 系統の電圧が低めであることから、設備故障時の信頼度基準としては、電圧変動を対象外とする。

また、設備の短時間許容容量は、架空送電線、地中送電線及び変圧器、それぞれについて常時容量の 150%とする。

### 3.3.3 系統構成案

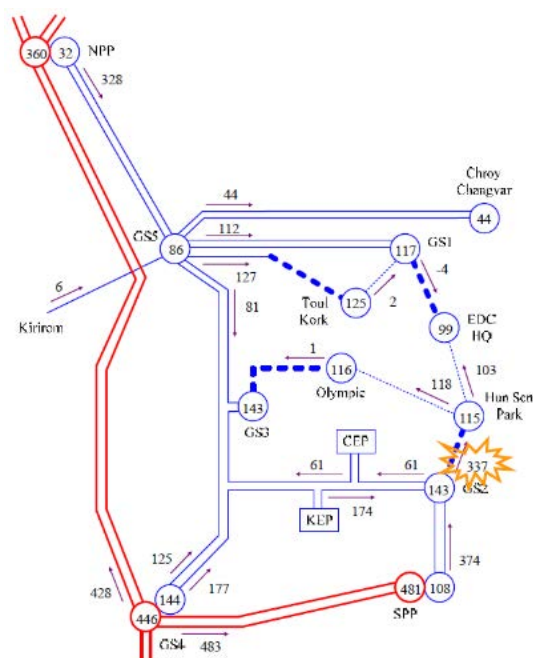
本事業は、大きく次の2つの目的に分けることができる。

- プノンペン市内の電力需要増への対応
- 開発地区への電力供給

#### (1) プノンペン市内の電力需要増への対応

フェーズ 1 調査における 2020 年断面の系統解析結果では、いくつかの系統構成案及び潮流パターンが比較されているが、図 3.3-1 に一例を示すように GS2 - Hun Sen Park 間の送電線（250MVA）が常時過負荷であると報告されており、この対策としてプノンペン中心部への 230kV 系統の導入が提案されている。

本事業計画案における 230/115/22kV GIS 変電所（NCC 内を想定）建設、NPP と WPP の中間点と NCC 間の 230kV 架空・地中送電線建設（π 引込）が、この対策に対応する（Alternative 1）。一方、対案として、GS5 の 230/115/22kV 変電所への拡張及び 230kV 送電線ルートの変更（NPP と WPP の中間点と GS5 間の 2 回線架空送電線（π 引込）及び GS5 と NCC 変電所間の 1 回線地中送電線の建設）が示されている（Alternative 2）。

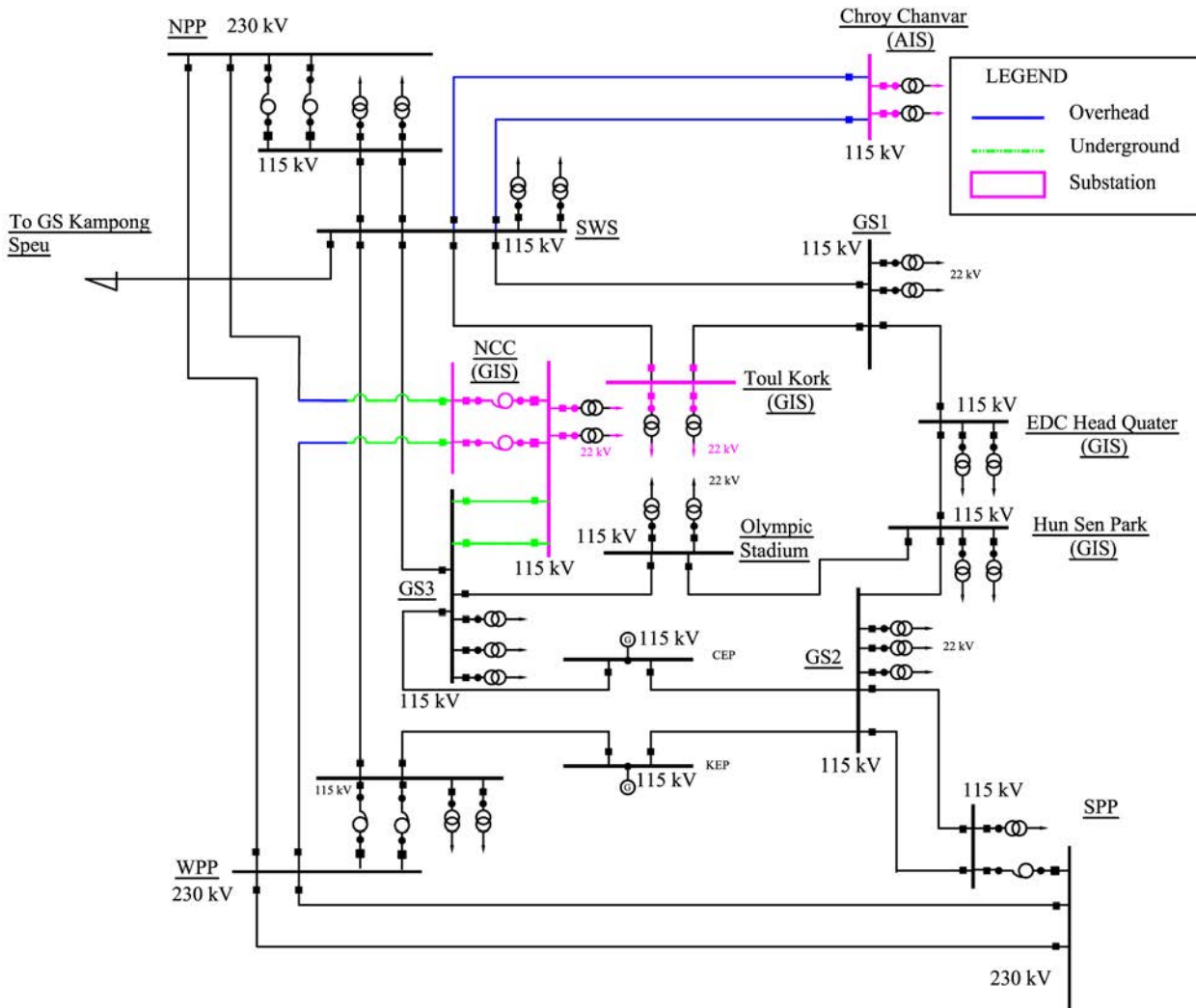


出典：JICA 調査団作成

図 3.3-1 有効電力潮流図例(2020年)

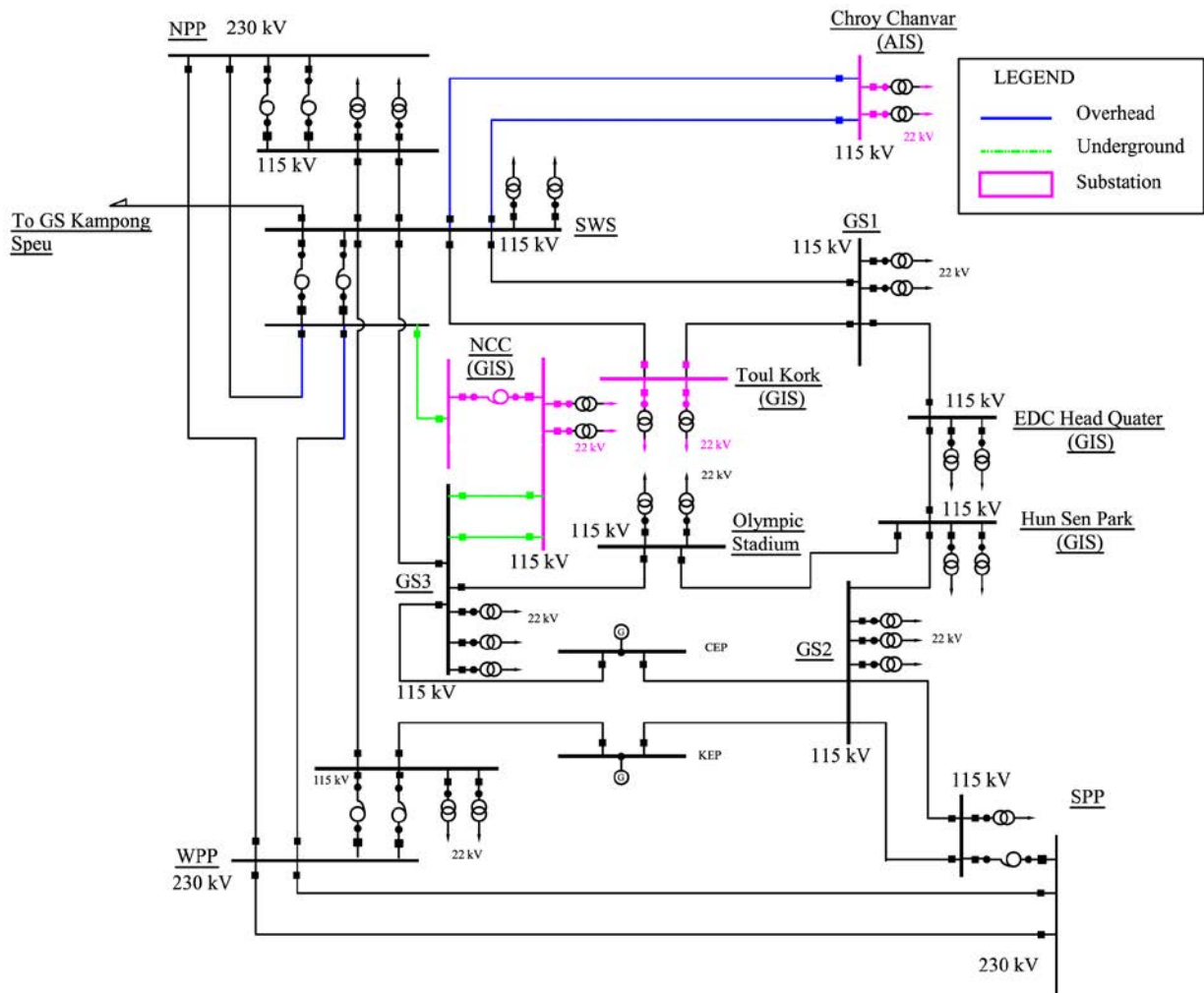
なお、EDC との協議に基づき、Alternative 1 の場合、NCC は、2バンク運用であるが、Alternative 2 の場合、1バンク運用とする。

各案を図 3.3-2 及び図 3.3-3 に示す。



出典：JICA 調査団

図 3.3-2 Alternative 1



出典：JICA 調査団

図 3.3-3 Alternative 2

(2) 開発地区への電力供給

Chroy Changvar 地区には、スタジアムや住宅団地などの大規模開発による新都市構想があるが、現在は 22kV 配電線が 2 回線伸びているだけで、抜本的な電力供給対策が必要であるとされている。本事業計画案は、Chroy Changvar 地区に 115/22kV AIS 変電所を建設し、GS5 との間に 2 回線架空送電線を建設するものである。

また、Toul Kork 地区も今後の需要増が予想されており、本事業計画案では、Toul Kork 地区に 115/22kV GIS 変電所の建設、GS1 と GS5 の中間点と同変電所との間の 2 回線架空送電線（π 引込）の建設が計画されている（Alternative A）。

ただし、Toul Kork 変電所については、NCC 変電所との 2 回線架空送電線及び GS5 との 1 回線地中送電線による連系ルートが対案として示されている（Alternative B）。

この2案は、(1)に示した2案に適用されるものであり、それぞれの概略図を図 3.3-4 から図 3.3-7 に示す。

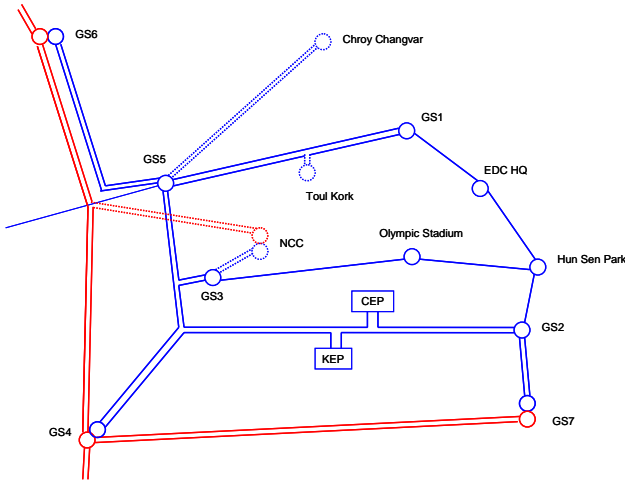


図 3.3-4 Alternative 1-A

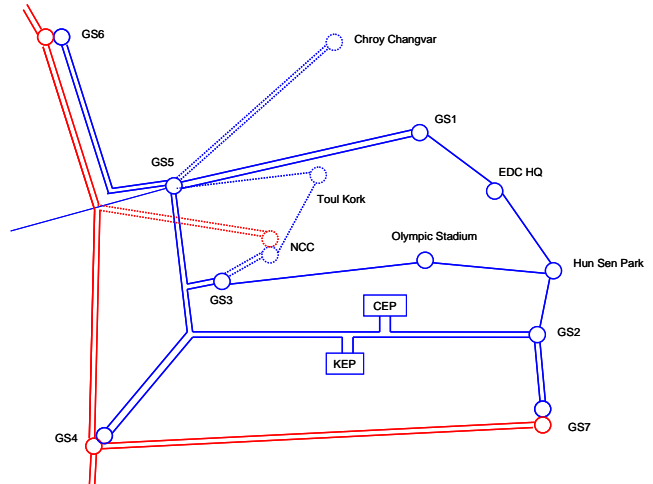


図 3.3-5 Alternative 1-B

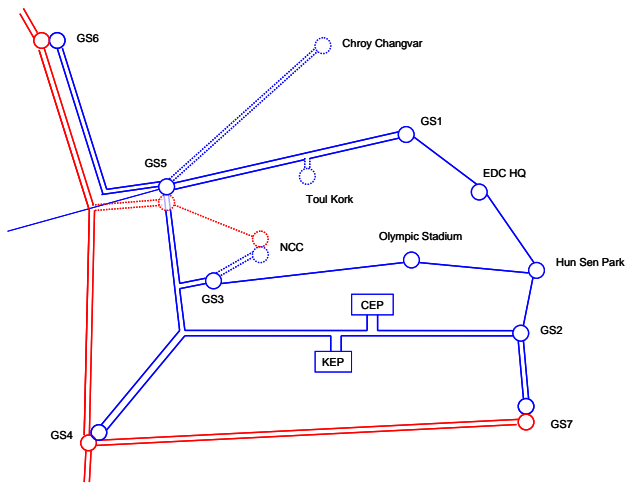


図 3.3-6 Alternative 2-A

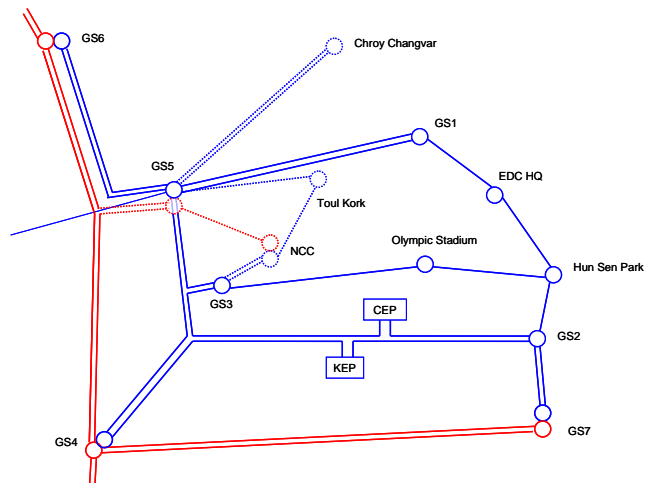


図 3.3-7 Alternative 2-B

出典：JICA 調査団作成

### (3) 系統運用

本節で示した系統構成案は、いずれもループ系統となっているが、一般的に潮流・電圧制御、事故範囲の特定及びリレー整定の容易さ等の理由から都市系統では放射状系統として運用することが多い。しかし、EDC との協議の結果、本調査においては、ループ系統および放射状系統の両者を検討対象とすることとした。

### 3.3.4 系統解析結果

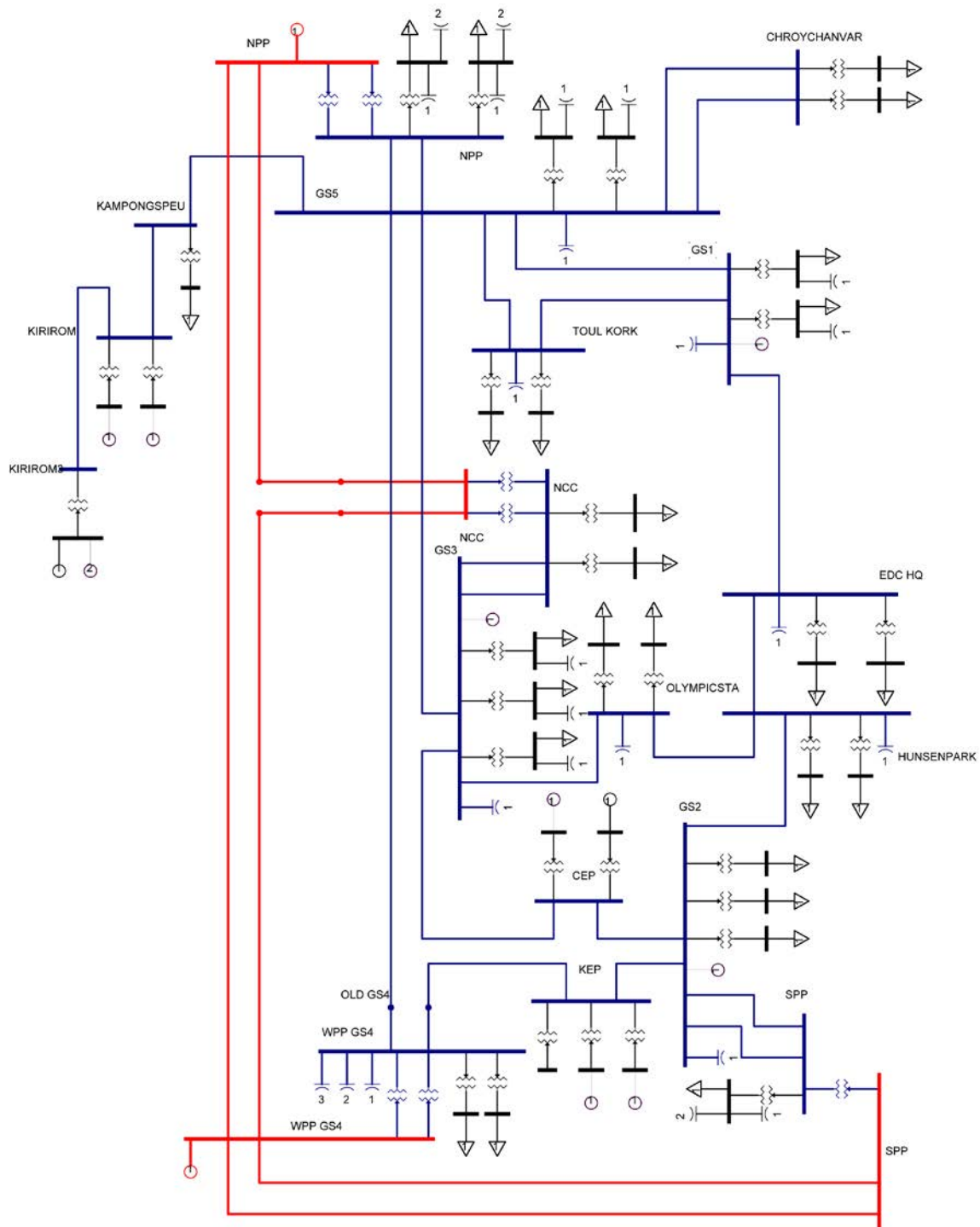
前節に示した系統構成案について、第5章「概略設計の対象となる整備計画の決定」で記述する最適計画案の策定に資するための系統解析を実施した。

実施した解析は、潮流解析及びN-1解析であり、それぞれの結果を以下に示す。

なお、需要の増加に伴い、系統電圧は低下するため、調相設備により適切に電圧を維持する必要があるが、本解析においては、既設の並列コンデンサ（SC：Shunt Capacitor）を全投入すると同時に、フェーズ1調査報告書に示された2020年において系統電圧を適正に維持するためには市内に少なくとも300 MVar程度のSCが必要になるという結果に基づき、プノンペン市内に同量のSCを設置した。なお、プノンペン市内の変電所間の距離は短いので各変電所へのSCの設置容量を調整しても大きな影響はない。

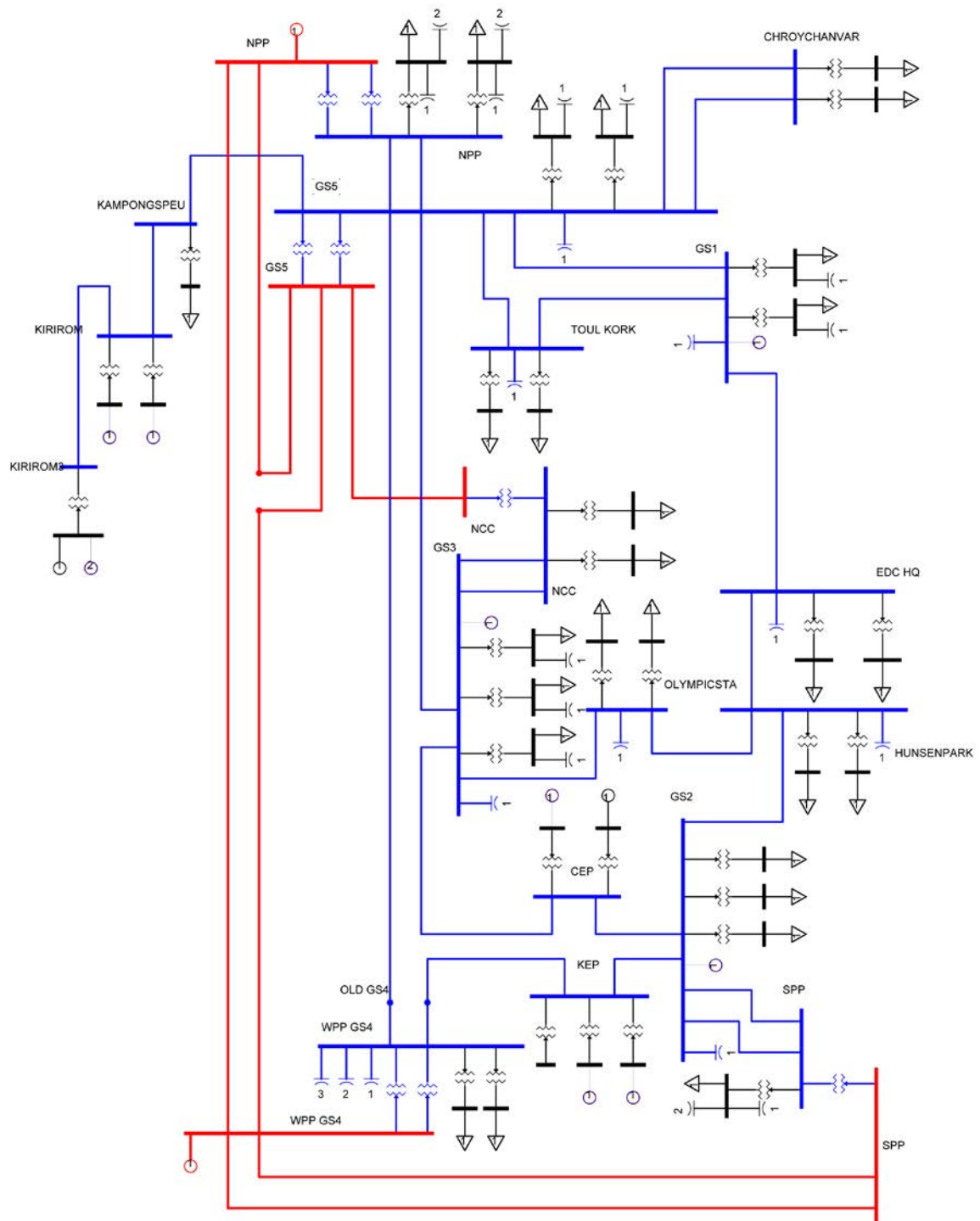
使用した系統モデルの単線図をループ系統の場合について、Alternative 1-A および Alternative 2-A をそれぞれ図 3.3-8 および図 3.3-9 に示す。





出典：JICA 調査団作成

図 3.3-8 Single Line Diagram (Alternative 1-A, Loop System)



出典：JICA 調査団作成

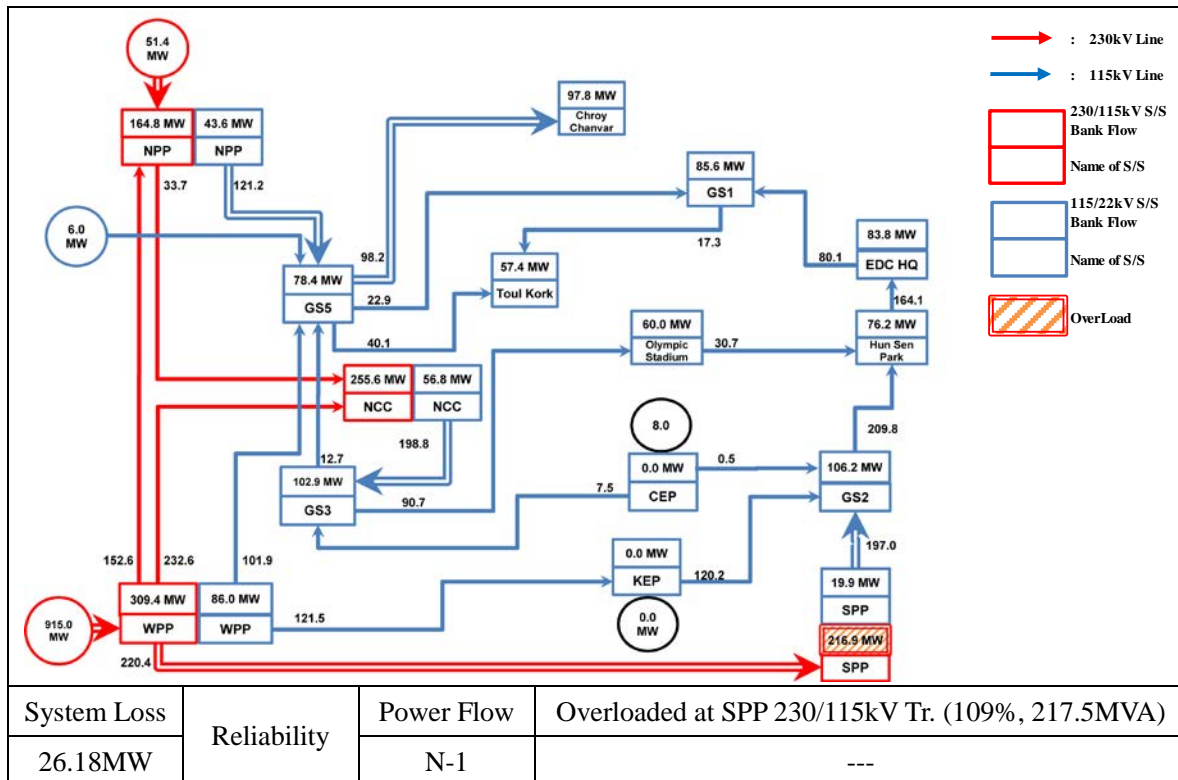
図 3.3-9 Single Line Diagram (Alternative 2-A, Loop System)

(1) ループ系統

ループ系統の場合の Alternative 1 及び Alternative 2 の解析結果を図 3.3-10 及び図 3.3-11 に示す。いずれのケースも設備健全時に SPP の変圧器で過負荷が発生している。

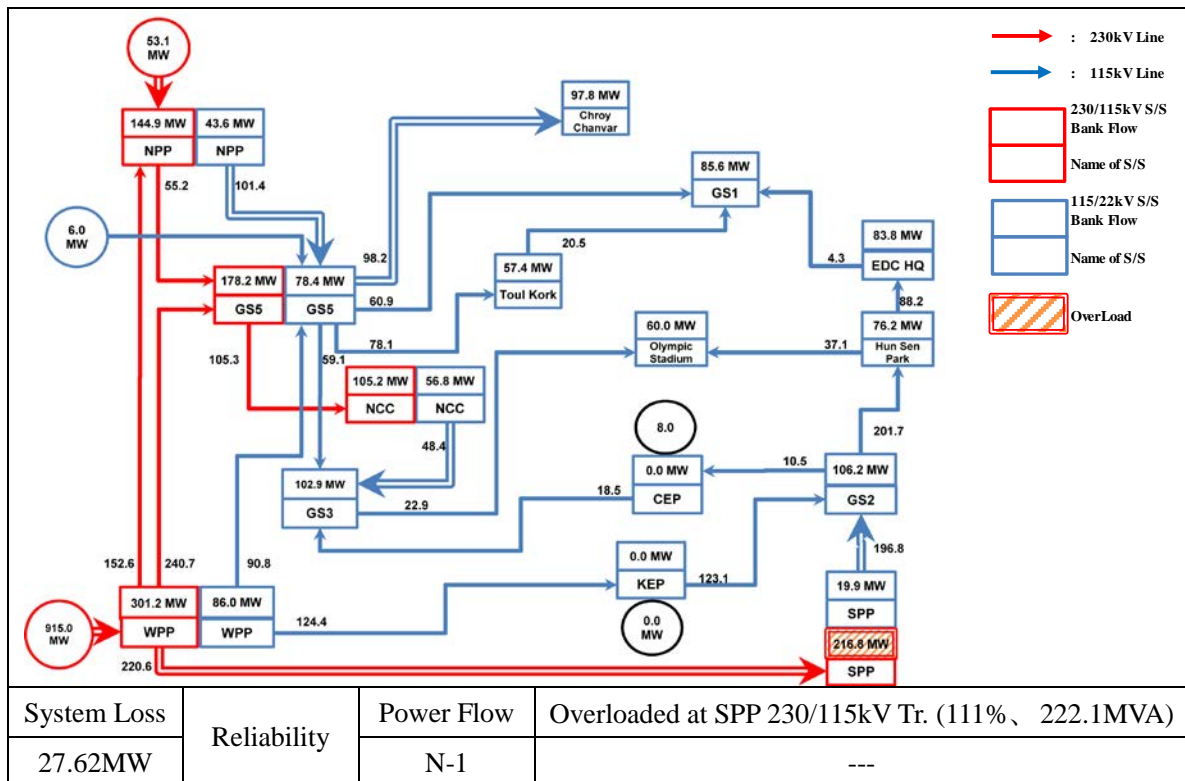
(2) 放射状系統

放射状系統の場合の Alternative 1-A 及び Alternative 2-A の解析結果を図 3.3-12 及び図 3.3-13 図 3.3-14 に示す。Alternative 1-A の場合、設備健全時、設備故障時ともに過負荷が発生するが、Alternative 2-A の場合には問題は発生しない。よって、Alternative 1 には信頼度的に問題がある。なお、図 3.3-14 に示すように Alternative 2-B の場合にも問題は発生しない。



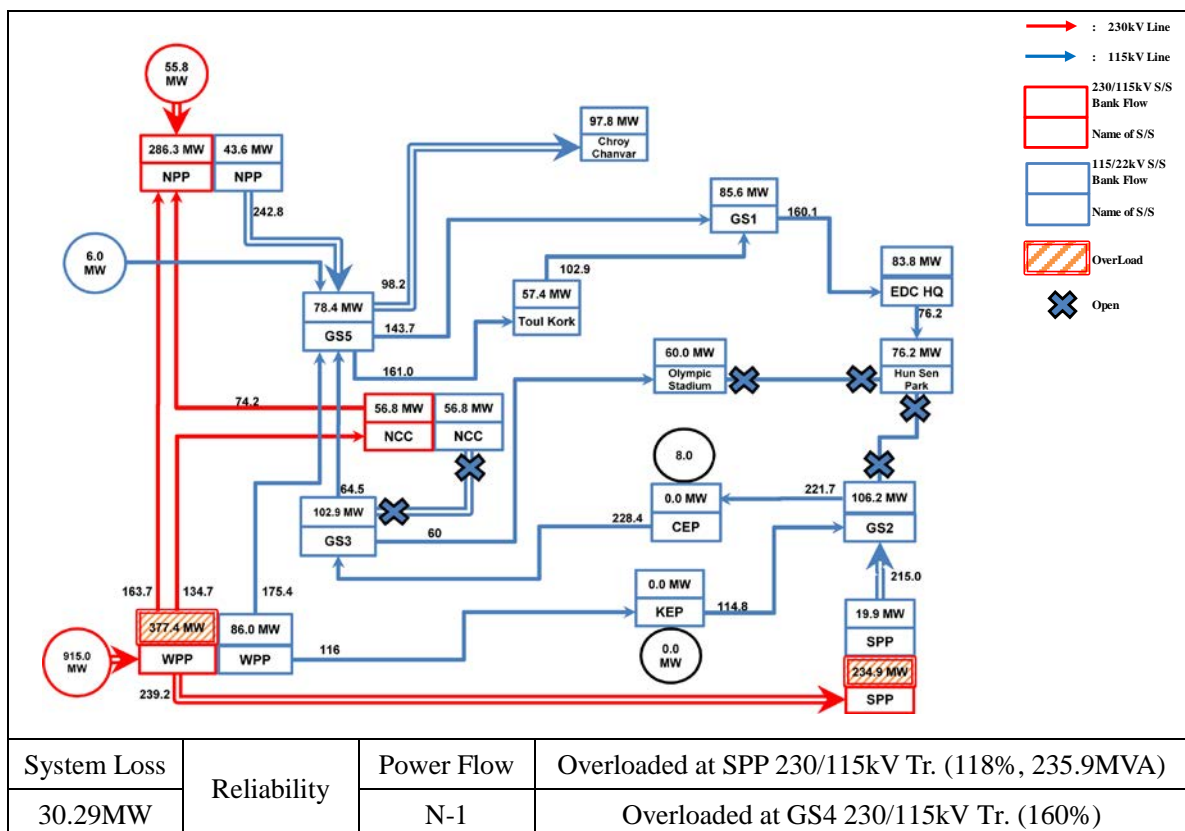
出典：JICA 調査団作成

図 3.3-10 Alternative 1-A, Loop System



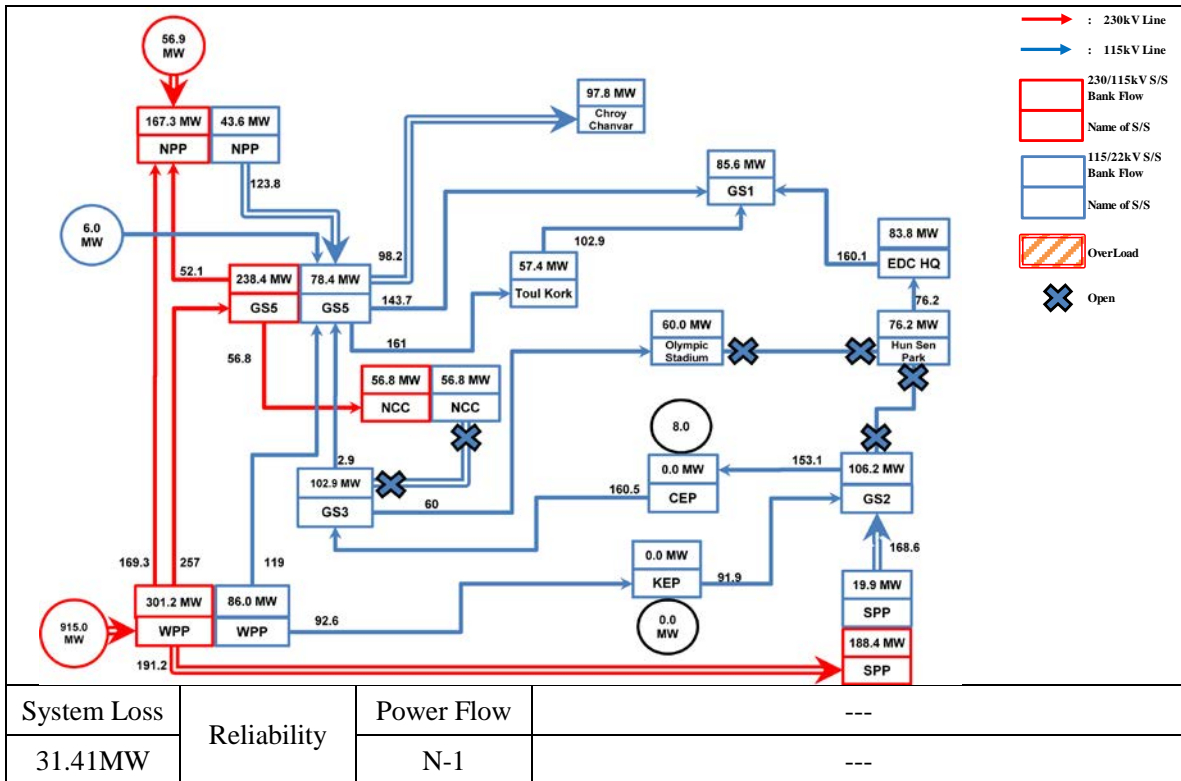
出典：JICA 調査団作成

図 3.3-11 Alternative 2-A, Loop System



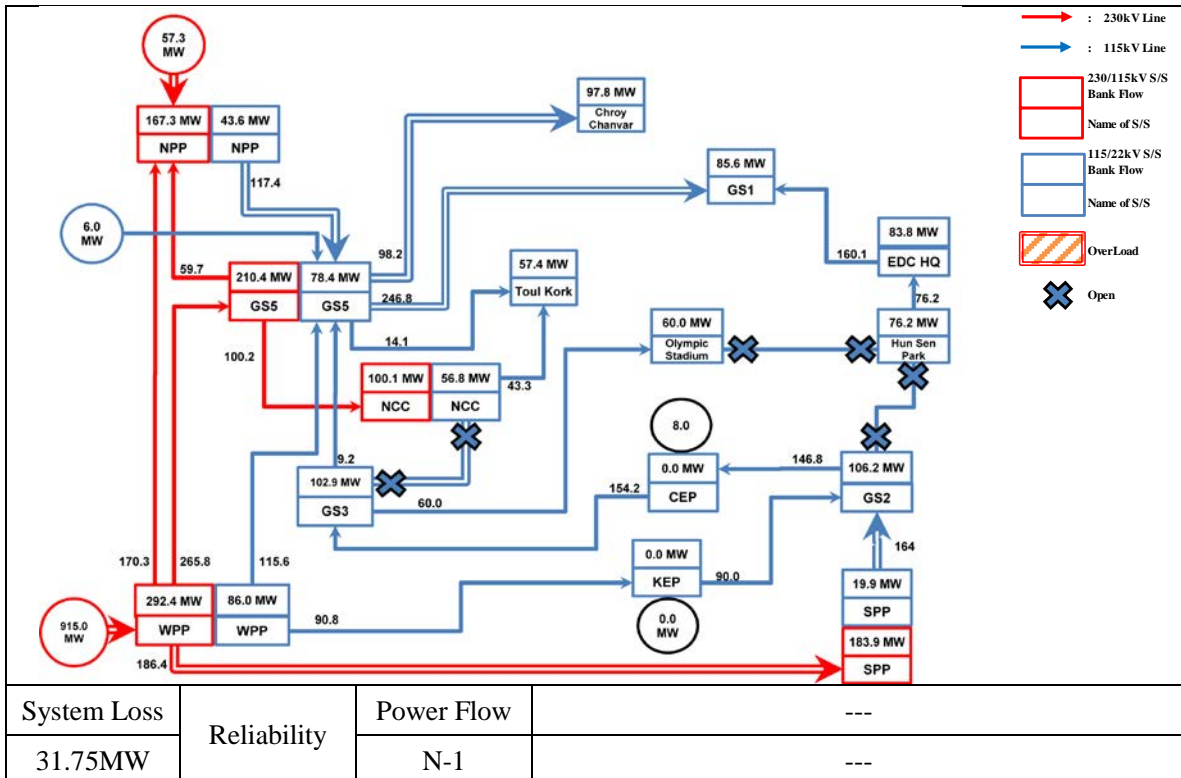
出典：JICA 調査団作成

図 3.3-12 Alternative 1-A, Radial System



出典：JICA 調査団作成

図 3.3-13 Alternative 2-A, Radial System



出典：JICA 調査団作成

図 3.3-14 Alternative 2-B, Radial System

### 3.3.5 その他の系統解析結果

本調査において EDC との協議を進める中で、これまでに示した基本的な系統構成案と異なる代案の可能性がいくつか示唆された。

本節では、それらの代案についての系統解析結果を示す。なお、いずれのケースも図 3.3-9 および図 3.3-11 に示した Alternative 2-A のループ系統をベースとする。

#### (1) 代案

具体的な代案は以下の通りである。

##### (a) 230kV 架空送電線のルート変更

NPP と WPP の中間点と GS5 間の 230kV 2 回線架空送電線のルートを既設の 115kV 送電線のルート及び線路 (railway) に沿った形で建設するという案である (既設の 115kV 送電線設備は撤去する)。このルート変更により、230kV 送電線の亘長が 10.6km から 10.2km に短縮される。

##### (b) 230kV 架空送電線の線種変更

NPP と WPP の中間点と GS5 間の 230kV 2 回線架空送電線の線種を ACSR<sup>4</sup> 632mm<sup>2</sup> × 2 (861MVA/cct) から TACSR<sup>5</sup> 610mm<sup>2</sup> × 2 (1,359MVA/cct) に変更するという案である。両線種の線路定数は、ほぼ同じなので、ここでは変更しないものとする。

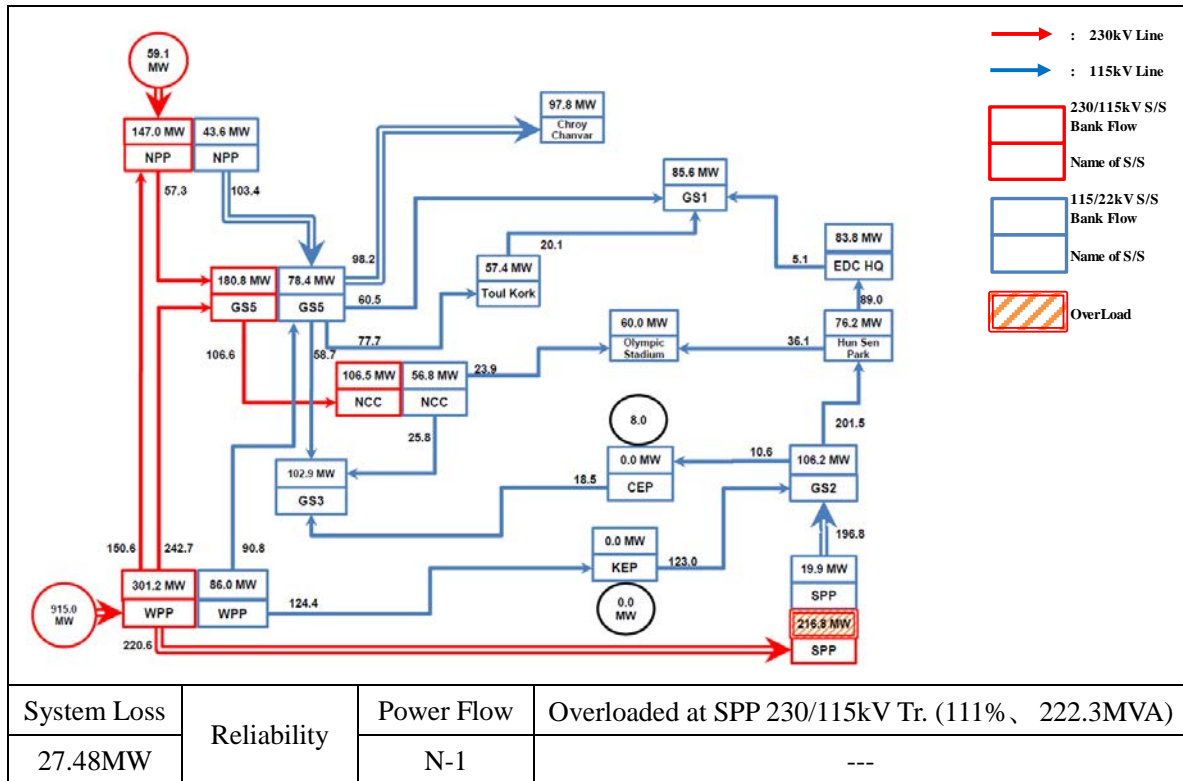
##### (c) Olympic Stadium - GS3 間の地中送電線ルート変更

Olympic Stadium 変電所、GS3 間の地中送電線ルートを NCC 変電所経由に変更するという案であり、ケーブル線種は、フェーズ 1 で計画されているものとし、Olympic Stadium 変電所、NCC 変電所間の亘長は 4km とする。

以上の代案の解析結果を図 3.3-15 に示す。この結果から、代案(a)~(c)を実施した場合でも、潮流解析および N-1 解析上は、特に問題がないことがわかる。ただし、SPP においては、図 3.3-11 と同様に過負荷が発生する。

<sup>4</sup> ACSR : Aluminum Conductor Steel Reinforced (鋼心アルミより線)

<sup>5</sup> TACSR : Thermal-resistant Aluminum alloy Conductor Steel Reinforced (鋼心耐熱アルミ合金より線)



出典：JICA 調査団作成

図 3.3-15 Alternative 2-A, Loop System (as an alternative plan)

(2) 調相設備配置による系統の電圧維持

(a) Case 1

前節では、既設の SC を全投入すると同時に、フェーズ 1 調査報告書に示された 2020 年において系統電圧を適正に維持するためには市内に少なくとも 300 MVar 程度の SC が必要になるという結果に基づき、プノンペン市内に同量の SC を設置した。ここでは、その必要性を再確認するため、既設の SC のみでの系統電圧の状態を確認した。なお、系統構成として、(1)で示した代案を対象とした。

既設の SC 設置量を表 3.3-2 に示す。

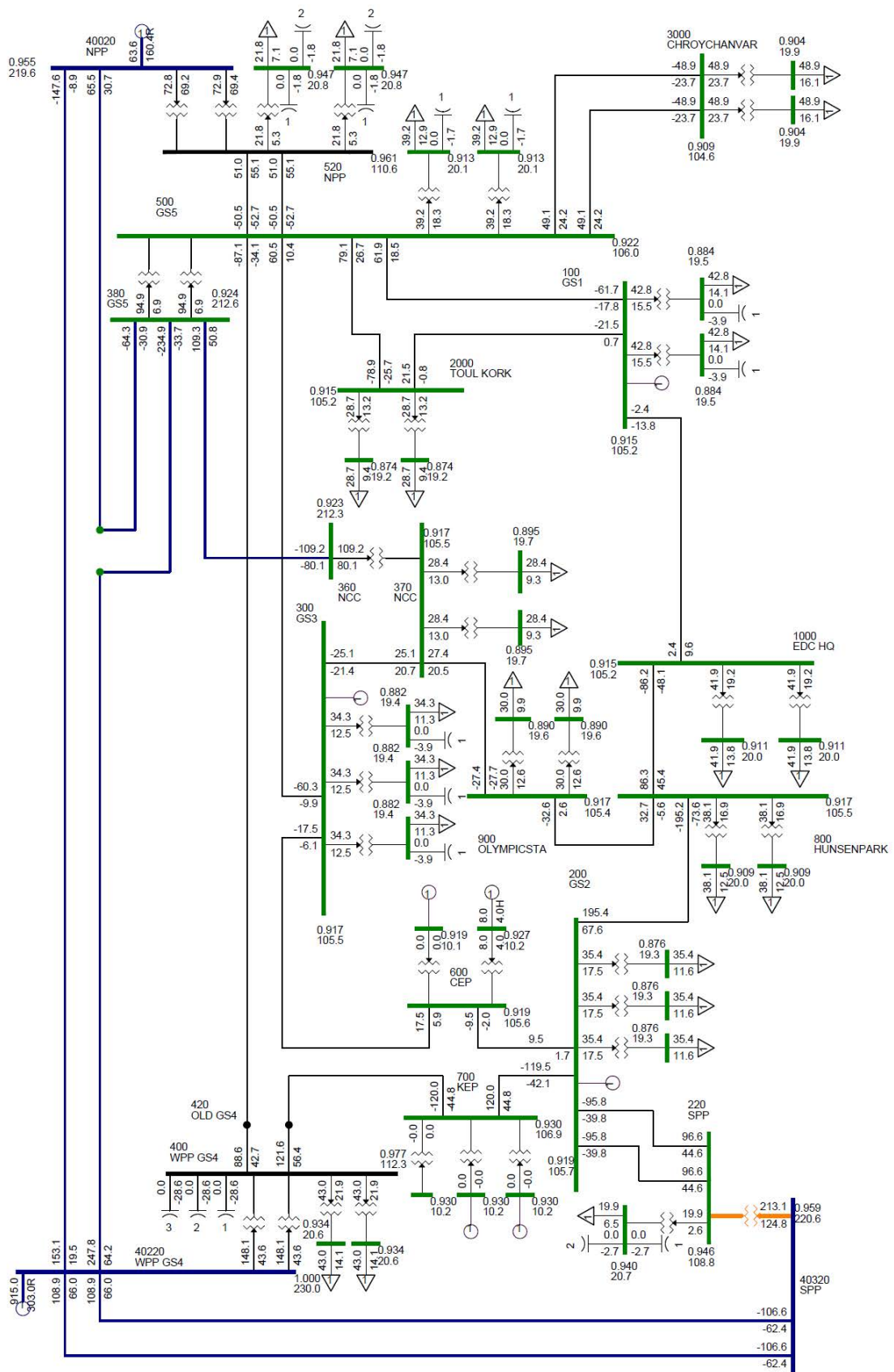
表 3.3-2 既設 SC 設置量

Substation	Shunt Capacitor (MVar*units)	Voltage Level (kV)
<b>Existing SC</b>		
GS1	5*2	22
GS3	5*3	22
GS4	30*3	115
GS5	2*2	22
NPP	2*4	22
SPP	3*2	22

出典：JICA 調査団作成

その結果、図 3.3-16 に示すように、既設の SC のみでは 115kV および 22kV の各母線電圧を基準電圧の±5%以内に維持することは出来ないことを確認した。





出典：JICA 調査団作成

図 3.3-16 Single Line Diagram and Bus Voltage (SC: Case-1, Existing SC Only)

(b) Case 2

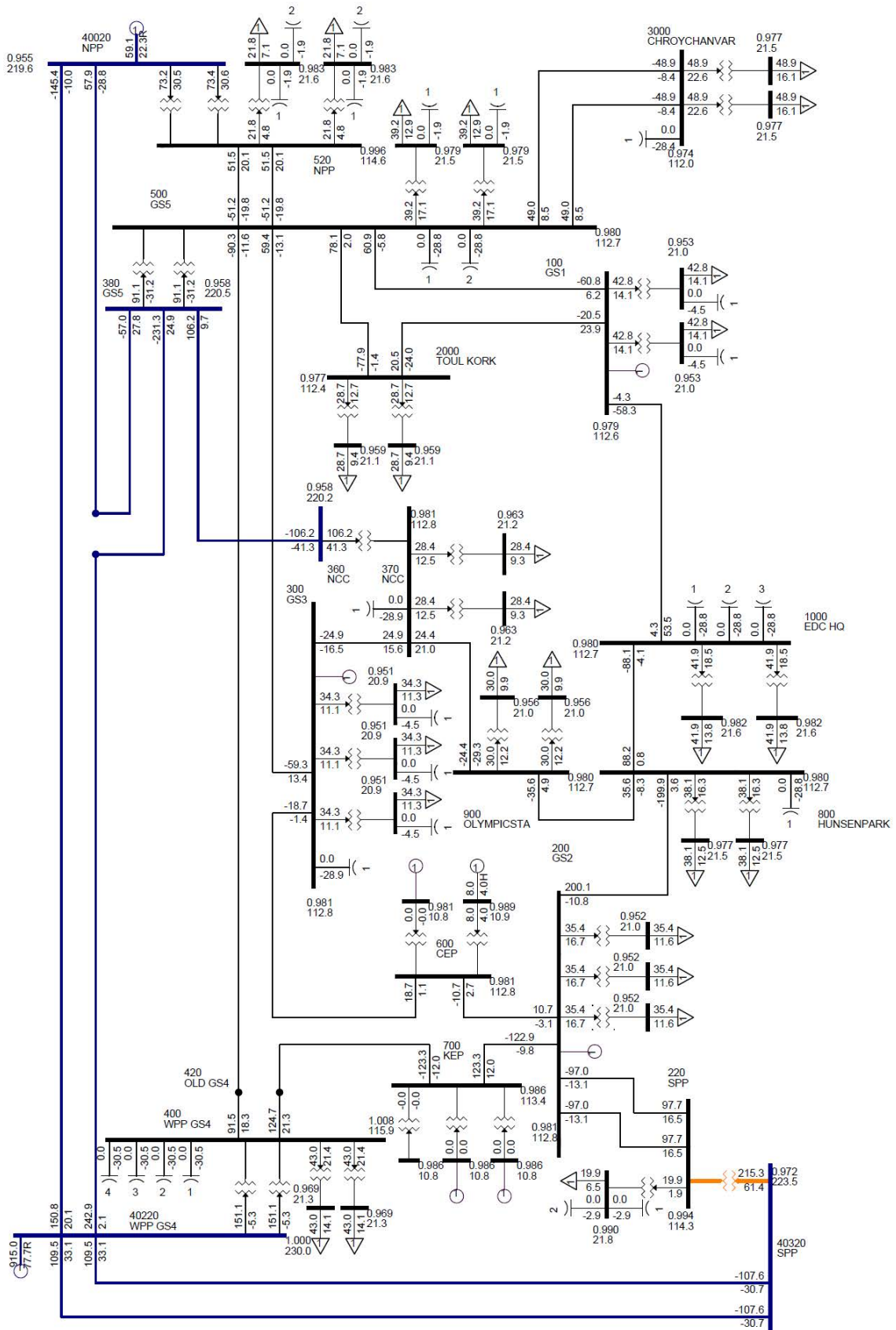
SCの設置箇所案として、表 3.3-3 に示すような SC 設置量で系統電圧が適正に維持できるかどうかを確認した。

その結果、図 3.3-17 に示すように 230kV、115kV および 22kV それぞれの母線電圧を±5%以内に維持できることを確認した。

**表 3.3-3 既設 SC および新設 SC 設置量**

Substation	Shunt Capacitor (MVar*units)	Voltage Level (kV)
<b>Existing SC</b>		
GS1	5*2	22
GS3	5*3	22
GS4	30*3	115
GS5	2*2	22
NPP	2*4	22
SPP	3*2	22
<b>New SC (Existing S/S)</b>		
GS3	30*1	115
GS4	30*1	115
GS5 (SWS)	30*2	115
<b>New SC (Phase 1)</b>		
EDC HQ	30*3	115
Hun Sen Park	30*1	115
<b>New SC (Phase 2)</b>		
NCC	30*1	115
Chroy Changvar	30*1	115

出典：JICA 調査団作成



出典：JICA 調査団作成

図 3.3-17 Single Line Diagram and Bus Voltage (SC:Case-2, Existing SC and New Installation)

### 3.4 系統課題への優先対応策

前節においてプノンペン系統の系統解析について述べたが、多くのケースで SPP の変圧器（200MVA）で過負荷が生じており、今後、この変圧器がプノンペン系統のボトルネックになり、変圧器の増設が必要となると思われる。しかし、SPP-EPP-WPP の 230kV 外輪系統の建設も計画されており、この外輪系統との関係も併せた検討が必要である。

## 第4章 現地調査の結果

## 第4章 現地調査の結果

### 4.1 架空送電線新設ルート

架空送電線のルート選定は、送電線建設の基本事項で、その良否によって用地確保の難易度はもとより、経済性、設備信頼度、施工、保守面に大きく影響を与える。このためルート選定に際しては、次に示す事項に留意し、技術面、環境面で調和の取れるルートを選定した。

- ① 経済的なルートであること
- ② 信頼度が高く、保守の容易なルートであること
- ③ 経済性と信頼度が調和していること
- ④ 地域と調和していること

現地調査にて確認した送電線のルートの一覧を表 4.1-1 に示す。各新設ルート案の現地調査結果を図 4.1-1～図 4.1-6 に示す。なお、第一次現地調査の結果、OHL\_Route1 および OHL\_Route8 は本事業の対象から外れた。

表 4.1-1 架空送電線のルートの一覧

Route	Location		Voltage	Circuit	Remarks
	From	To			
OHL_Route1	Midpoint of NPP and WPP	NCC S/S	230kV	2	UG_Route2
OHL_Route3	Midpoint of NPP and WPP	GS5	230kV	2	UG_Route4
OHL_Route6	GS5	Chroy Changvar S/S	115kV	2	
OHL_Route7	Midpoint of GS5 and GS1	Toul Kork S/S	115kV	2	
OHL_Route8	GS5	Toul Kork S/S	115kV	1	

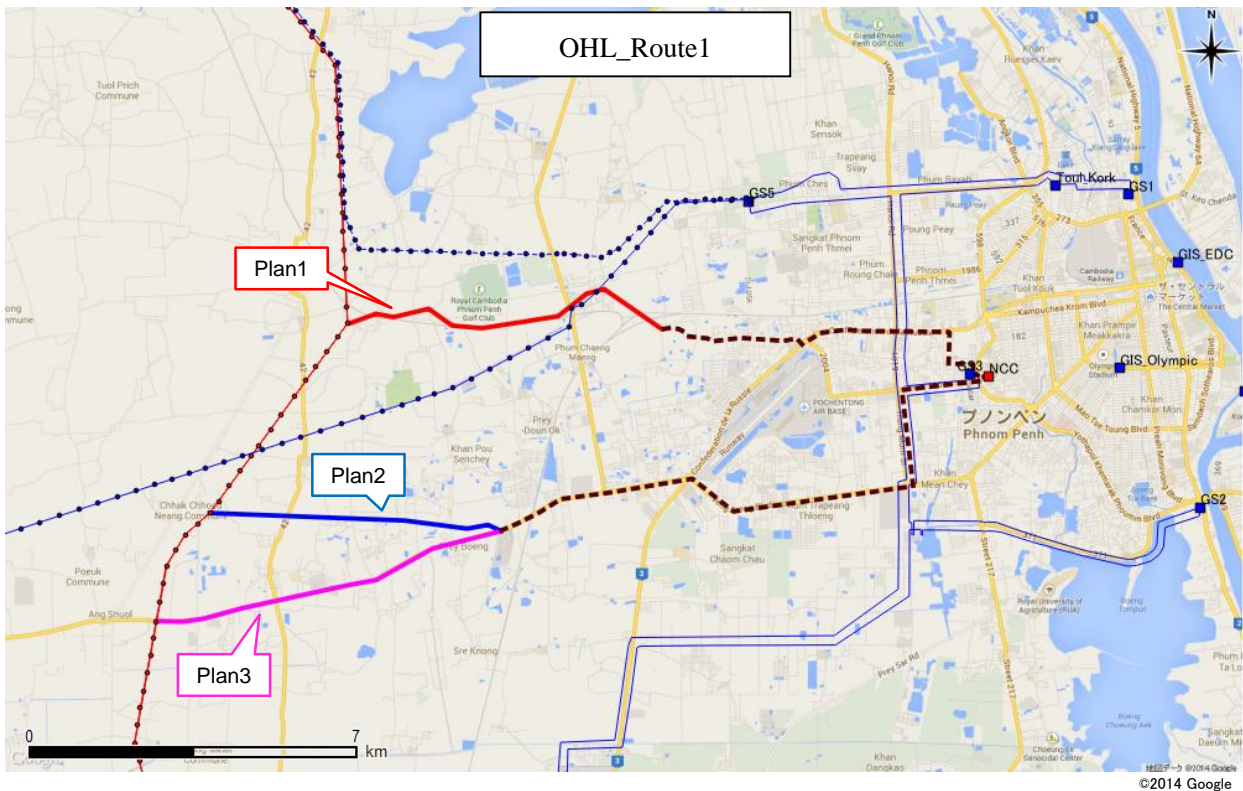
□ 第一次現地調査の結果、本事業の対象から外れたルート

出典：JICA 調査団作成

#### (1) OHL\_Route1

OHL\_Route1 は、NPP と WPP を結ぶ 230kV 送電線の間地点から  $\pi$  分岐して、途中で地中送電線へ接続し、中央給電指令所（NCC：National Control Center）変電所を結ぶルートである。なお、OHL\_Route1 は UG\_Route2 へと繋がる。プノンペン空港がルートの側にあることから、プノンペン空港の影響を受けないルートの選定とした。Plan1 は地中線が最短となるルート、Plan2 は架空が最短となるルート、Plan3 は道路沿いのルートである。EDC との協議の結果、

もしこのルートが選定された場合、Plan1 が採用されるものとする。



出典：JICA 調査団作成

図 4.1-1 OHL\_Route1 のルート図

表 4.1-2 OHL\_Route1 のルート調査結果

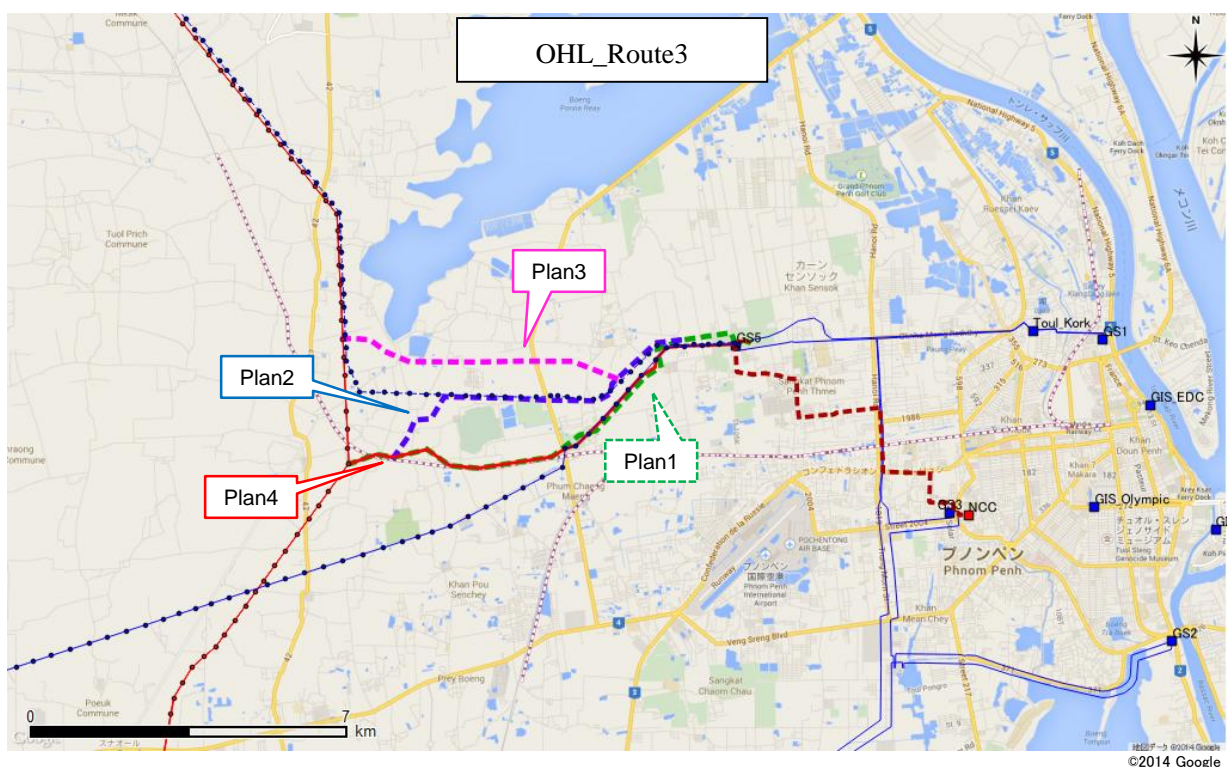
Route	Plan	Distance (UG_Route2)	Ease of Construction	Crossing house	Ease of land acquisition	Evaluation
OHL_Route1	Plan1	7.7km (8.3km)	A	A	B	A
	Plan2	6.4km (13.4km)	B	B	B	B
	Plan3	7.8km (13.4km)	C	C	C	C

※A：Recommend (Very good)、B：Available (Good)、C：Difficult (Bad)

出典：JICA 調査団作成

(2) OHL\_Route3

OHL\_Route3 は、WPP と NPP 間を結ぶ 230kV 送電線から  $\pi$  分岐して、GS5 へ接続するルートである。Plan1 は、線路沿いを主に通るルートである。Plan2 は、既設の 115kV 送電線ルート沿いを通るルートである。Plan3 は、可能な限り最短としたルートである。Plan4 は、一部既設の 115kV 送電線を通るルートである。ルートの選定にあたっては、次の3点に注意した。1 点目は住宅の横断とルート上の問題ができるだけない箇所であること、2 点目は  $\pi$  分岐に適した鉄塔であること、3 点目は地盤にできるだけ問題がないこと。上記を考慮し、EDC との協議の結果、Plan4 を採用することとした。



出典：JICA 調査団作成

図 4.1-2 OHL\_Route3 のルート図

表 4.1-3 OHL\_Route3 のルート調査結果

Route	Plan	Distance	Ease of Construction	Crossing house	Ease of land acquisition	Evaluation
OHL_Route3	Plan1	10.6km	A	A	B	B
	Plan2	10.2km	B	B	C	C
	Plan3	9.7km	C	B	B	C
	Plan4	10.2km	A	A	A	A

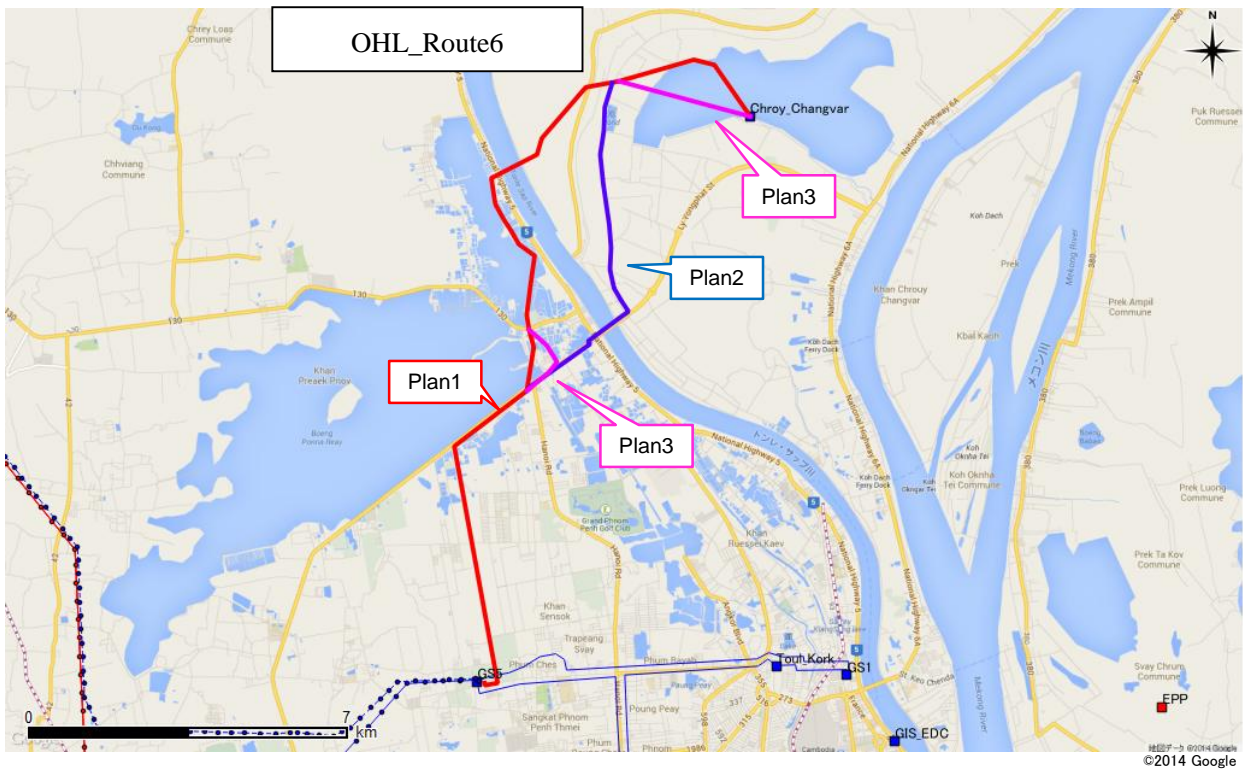
※A : Recommend (Very good)、B : Available (Good)、C : Difficult (Bad)

出典：JICA 調査団作成



(3) OHL\_Route6

OHL\_Route6は、GS5からChroy Changvar変電所へ接続するルートである。支持物はGS5から湖まで115kVの既設の横断箇所を除いて、支持物はコンクリート柱と鋼管柱を採用する。湖からChroy Changvar変電所までは鉄塔を採用する。Plan1、Plan3は河川の横断箇所に家がないルートである。Plan2は河川の横断で橋の側を通過するルートである。Plan3はPlan1で不確定要素のある箇所についての代替案のルートである。EDC側との協議により、Plan1を採用することとした。



出典：JICA 調査団作成

図 4.1-3 OHL\_Route6 のルート図

表 4.1-4 OHL\_Route6 のルート調査結果

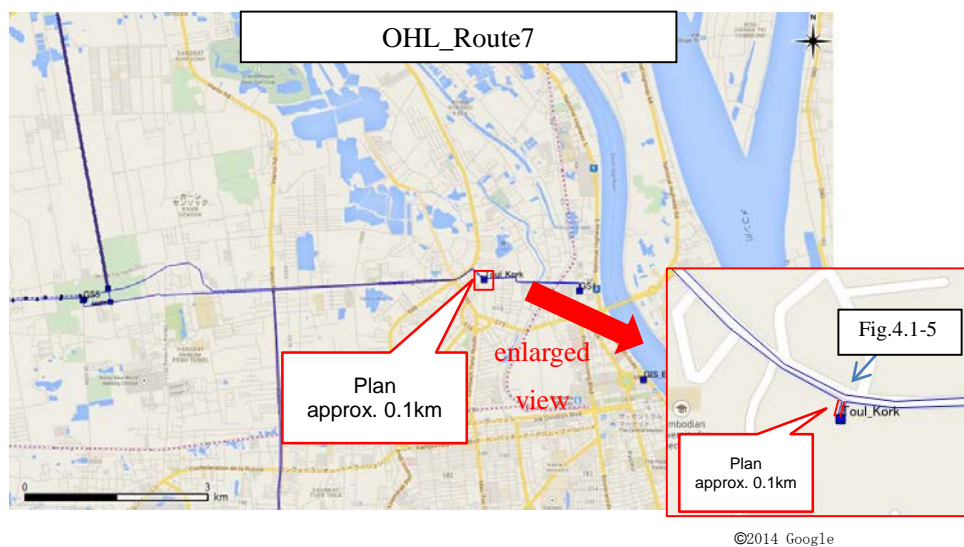
Route	Plan	Distance (km)	Ease of Construction	Crossing house	Ease of land acquisition	Evaluation
OHL_Route6	Plan1	20.2km	B	B	B	A
	Plan2	19.3km	C	C	C	C
	Plan3	20.1km	C	B	B	B

※A：Recommend (Very good)、B：Available (Good)、C：Difficult (Bad)

出典：JICA 調査団作成

(4) OHL\_Route7

OHL\_Route7は、GS5とGS1間の115kV送電線からToul Kork変電所へπ分岐するルートである。Toul Kork変電所のすぐ側に既設のコンクリート柱がある。変電所へは引き留め設計の鋼管柱を立てて引き込むことを想定している。



©2014 Google

出典：JICA 調査団作成

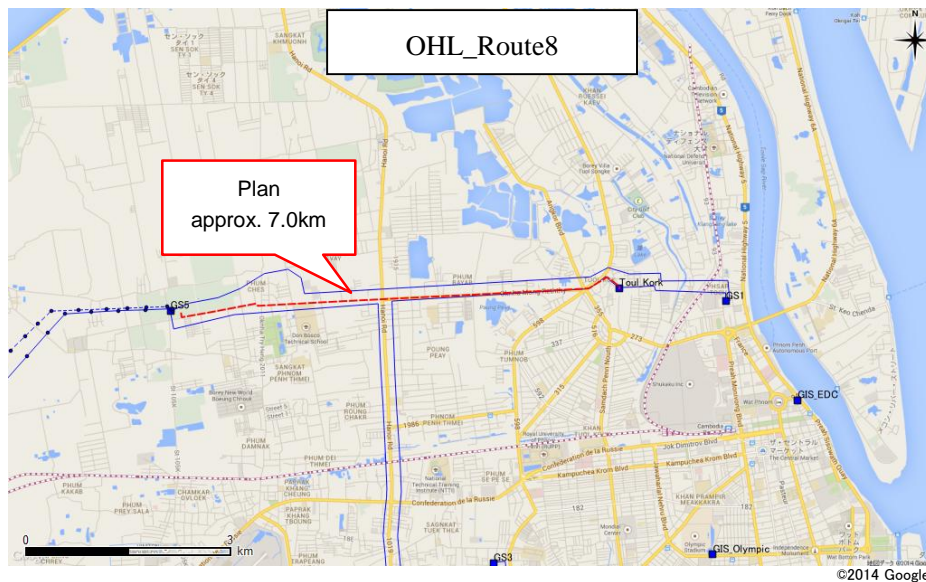
図 4.1-4 OHL\_Route7 のルート図



図 4.1-5 OHL\_Route7 の分岐コンクリート柱

(5) OHL\_Route8

OHL\_Route8は、GS5からToul Kork変電所へ接続する1回線のルートである。Toul Kork変電所周辺は街中にあり、新規にコンクリート柱または鋼管柱を建設することは難しい。本案件を実施する場合、既設送電線の電線張替等の検討を実施する必要がある。



出典：JICA 調査団作成

図 4.1-6 OHL\_Route8 のルート図

## 4.2 地中送電線新設ルート

### (1) 地中埋設物類似工事の現地調査

地中送電線路の構築にあたっては、既存地中設備の埋設状況や工事場所の交通量、工事周辺住民への環境配慮など多角的な側面から工事に伴い発生する種々の影響を検討し、昼間もしくは夜間施工を選定するとともに開削もしくは推進工法などの各種管路埋設工法についても決定する必要がある。特に、115kV以上の地中送電線路は、22kV以下の地中配電線路と比較してケーブルやジョイントベイなどの設備寸法が大きくなることから、埋設および工事スペース確保の観点から道路幅員の広い車道下に計画されるケースが多い。

そこで今回、地中送電線路の埋設工事を円滑に進めることを目的に、車道下に設置される地中送電線路と比較的規模が類似している埋設工事がどのように道路上で施工されているのか情報収集のため現地調査を行った。その一例として、図 4.2-1 にプノンペン市内における下水管理設工事の施工状況を示す。



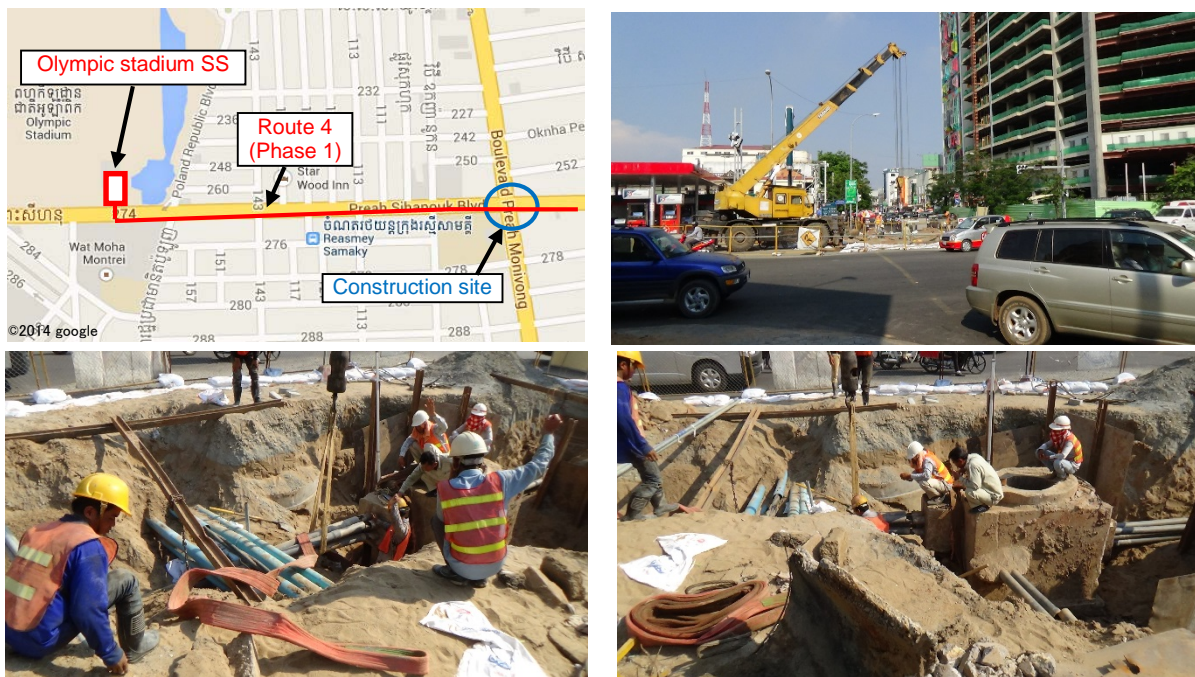
図 4.2-1 下水管理設工事の状況

図 4.2-1 に示す下水工事現場が行われている道路は、中央分離帯が設置されている片側 2 車線の計 4 車線になる幹線道路である。下水管を歩道側 1 車線目の車道下に埋設するため、片側 2 車線を工事および埋設スペースとして占用し、開削工法で下水管を埋設している。一般車両を通行させるため、中央分離帯を一時撤去して対向車線の中央に移動させて 2 車線分を

減少、すなわち片側1車線の計2車線道路へと変更している。現地状況は、車線減少と昼間施工の影響も相まって渋滞を引き起こしている。もし、当該道路に地中送電線路を埋設する場合には、1車線目の下水管との干渉を避けるため2車線目もしくは対向車線側への計画が基本となるが、他の既存埋設物の輻輳状況によっては、夜間の開削工法あるいは推進工法採用の検討が不可欠となる。

## (2) フェーズ1 地中送電線路埋設計画ルートでの現地調査

フェーズ1 調査報告書では、115kV 1回線の地中送電埋設ルートが立案され、すべて開削工法で計画されている。フェーズ2で計画している地中送電線路は115kV および230kVの2種類があり、フェーズ1と比べて埋設規模が大きくなるが、フェーズ2の埋設ルートを決断するにあたり参考として、フェーズ1で計画されている埋設ルートについて現地調査を行った。一例として、フェーズ1におけるルート4 (Olympic Stadium 変電所東側交差点) の状況を図4.2-2に示す。



出典：JICA 調査団作成

図 4.2-2 フェーズ1 地中送電線路計画ルート(Olympic Stadium 変電所東側交差点)

図4.2-2に示すとおり、フェーズ1の計画ルート上の交差点において埋設準備作業が行われている。掘削ヤード内では、既存のマンホールおよび縦横に走る埋設管とケーブルが露出しており、それらをクレーンで慎重に吊り上げながら防護カバーを取り付けていることが分かる。掘削範囲内の埋設輻輳状況から判断すれば、当該箇所は交通量の多い交差点であり昼間

の開削工法は非常に困難であると思われる。また、埋設物の輻輳状況によっては地中送電線路の埋設スペースが確保できない可能性があるため、その場合には推進工法による交差点横断の検討が必要となる。

(3) 本調査(フェーズ2)地中送電線路埋設計画ルート of 現地調査

現地調査にて確認した地中送電線路埋設計画(新設)ルート案の一覧を表4.2-1に、各新設ルート案全体図を図4.2-3~図4.2-6に示す。また、各新設ルート案のサイト状況をAppendix1に示す。

表 4.2-1 地中送電線の調査対象

NO.	自	至	電圧	回線数	備考
UG_Route2	Connection point between OHL and UG	NCC	230 kV	1	
UG_Route4	GS5	NCC	230 kV	1	
UG_Route5	NCC	GS3	115 kV	2	
UG_Route9	Toul Kork	NCC	115 kV	1	

■ : 第1次現地調査終了時点で概略設計対象から外れたルート

■ : 第3次現地調査終了後で概略設計対象から外れたルート

出典 : JICA 調査団作成

各ルートの選定は、ルートの亘長(距離)や施工に大きな影響を及ぼす橋梁や鉄道線路の数、更に現地調査を通じて把握したサイトの状況や環境社会配慮も考慮し、最終的にはEDCを協議の上、決定した。

なお、第一次現地調査で上記検討結果を踏まえ、概略設計の対象となるシステムとしてAlternative 2-1が採用されたため(第5章参照)、UG\_Route2およびUG\_Route9は本事業の概略設計対象から外れた。また、UG\_Route5は、第3次現地調査後、EDCとJICAとの協議の結果、本事業の実施対象から外れた。地中送電線路埋設計画のルート調査結果を表4.2-2に示す。

表 4.2-2 地中送電線路埋設計画のルート調査結果

NO.	Plan	距離 (km)	Railway (*1)	Waterway (*2)	Evaluation(*3)
UG_Route2	Plan1	10.2	0	0	A
UG_Route4	Plan1	10.38	1	0	B
	<b>Plan2</b>	<b>9.28</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	Plan3	10.18	1	2	B
UG_Route5	Plan1	0.9	0	0	B
	Plan2	0.7	0	0	B
	<b>Plan3</b>	<b>0.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>A</b>
UG_Route9	Plan1	5.4	1	0	A
	Plan2	5.6	1	0	B

Note; \*1: Number of places that cross the railway. Green Circle.  
 \*2: Number of places that cross the waterway. Blue Circle.  
 \*3: A: Recommend (Very good), B: Available (Good), C: Difficult, D: Impossible

- : 第1次現地調査終了時点で概略設計対象から外れたルート
- : 第1次現地調査終了時点で概略設計対象となったが、最終的にスコープから外れたルート
- : 第3次現地調査終了後で概略設計対象となったルート

出典：JICA 調査団作成

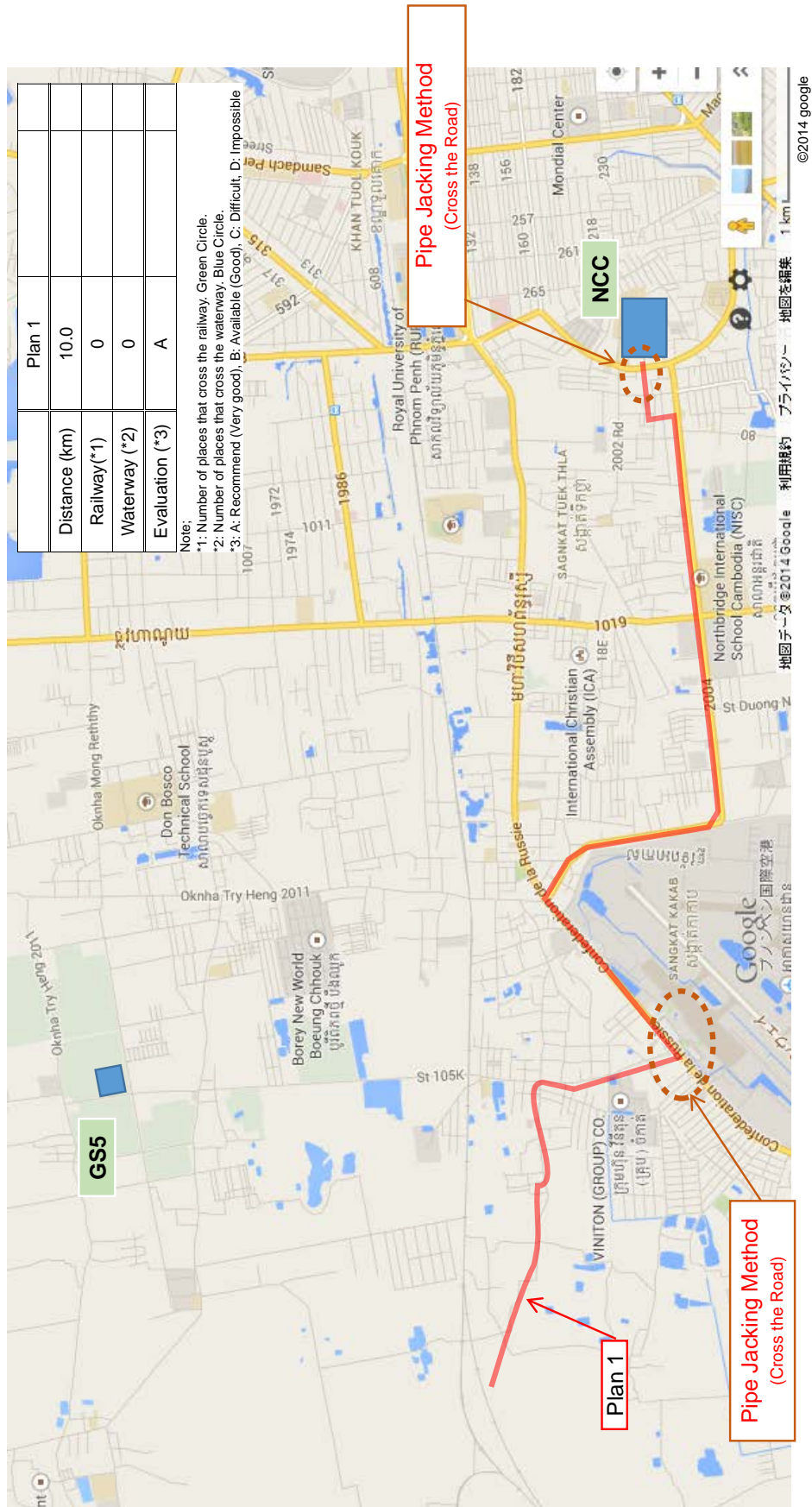
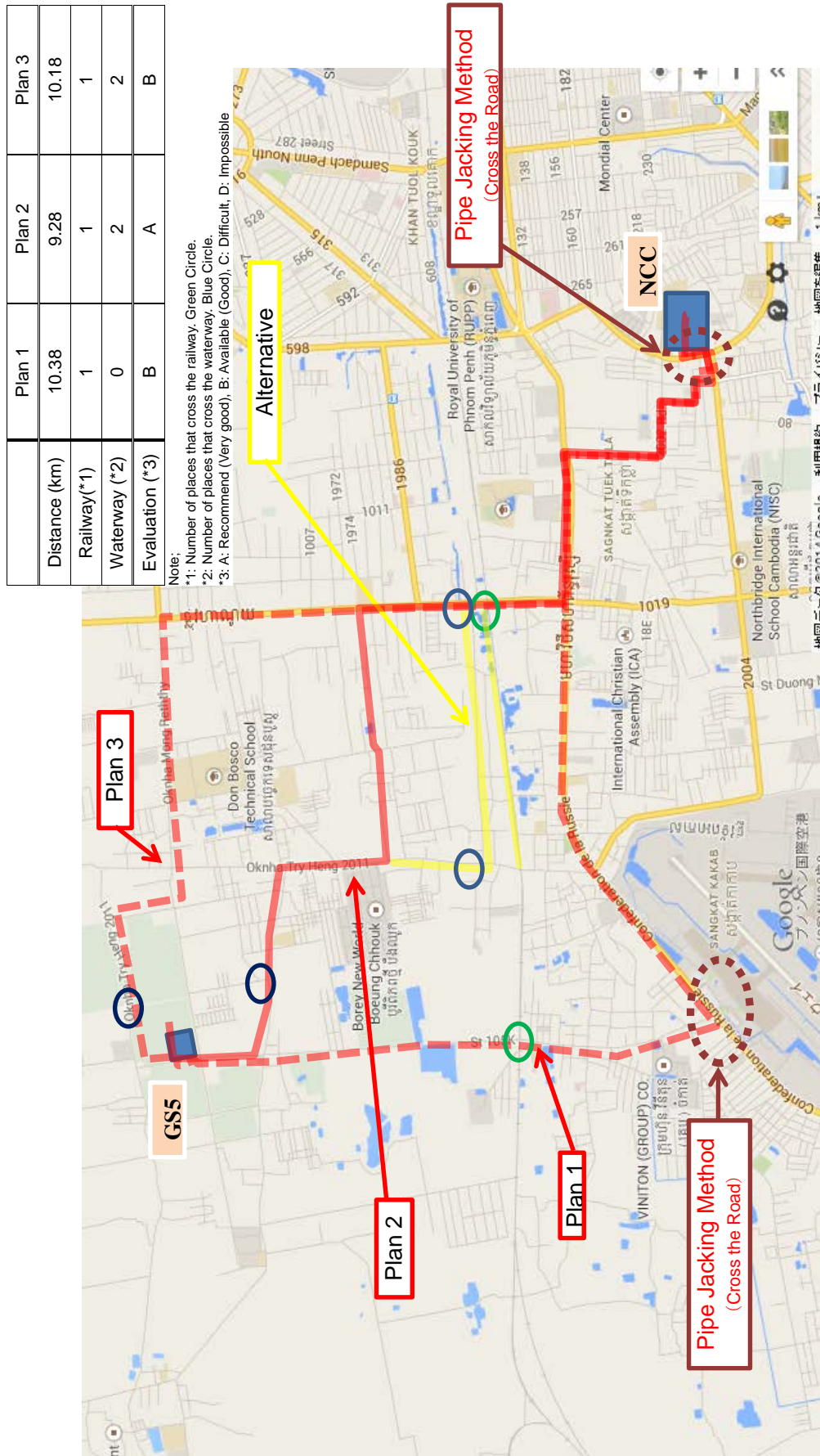


図 4.2-3 UG\_Route2 平面図 (現地調査結果)

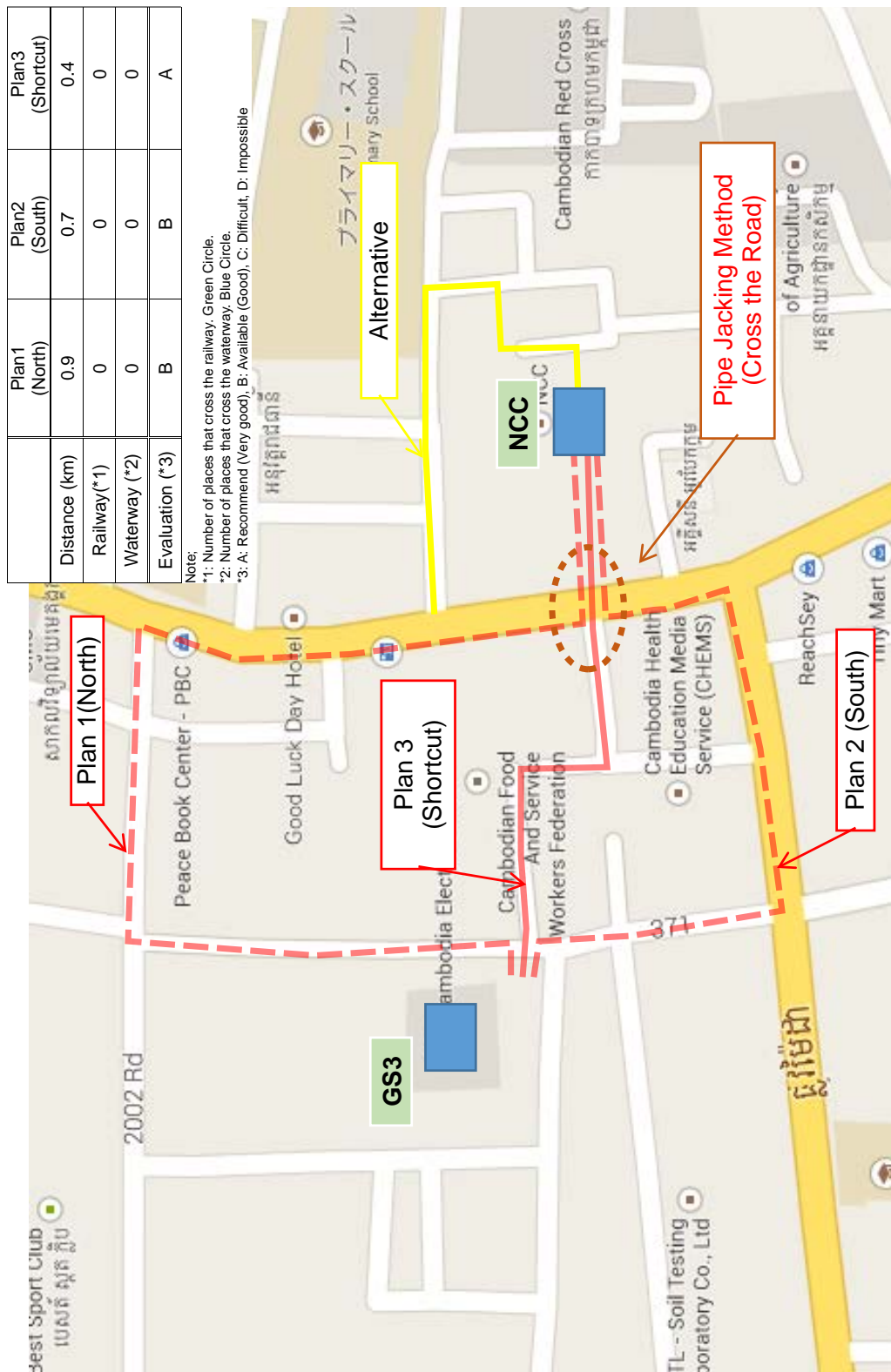




©2014 google

出典：JICA 調査団

図 4.2-4 UG\_Route5 平面図(現地調査結果)



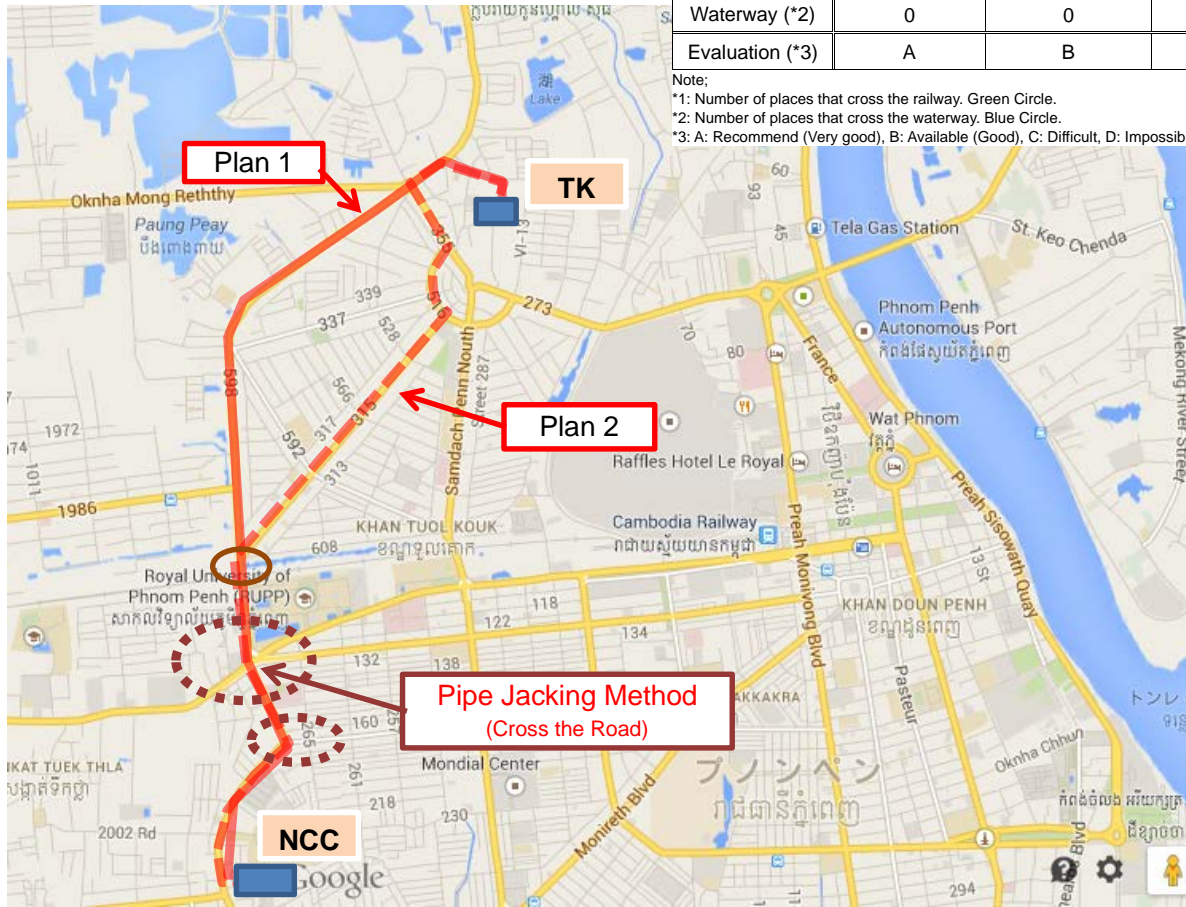
©2014 google

出典：JICA 調査団

図 4.2-5 UG\_Route3 平面図 (現地調査結果)

	Plan1	Plan2	
Distance (km)	5.4	5.6	
Railway(*1)	1	1	
Waterway (*2)	0	0	
Evaluation (*3)	A	B	

Note:  
 \*1: Number of places that cross the railway. Green Circle.  
 \*2: Number of places that cross the waterway. Blue Circle.  
 \*3: A: Recommend (Very good), B: Available (Good), C: Difficult, D: Impossible



©2014 google

出典：JICA 調査団作成

図 4.2-6 UG\_Route7 平面図(現地調査結果)

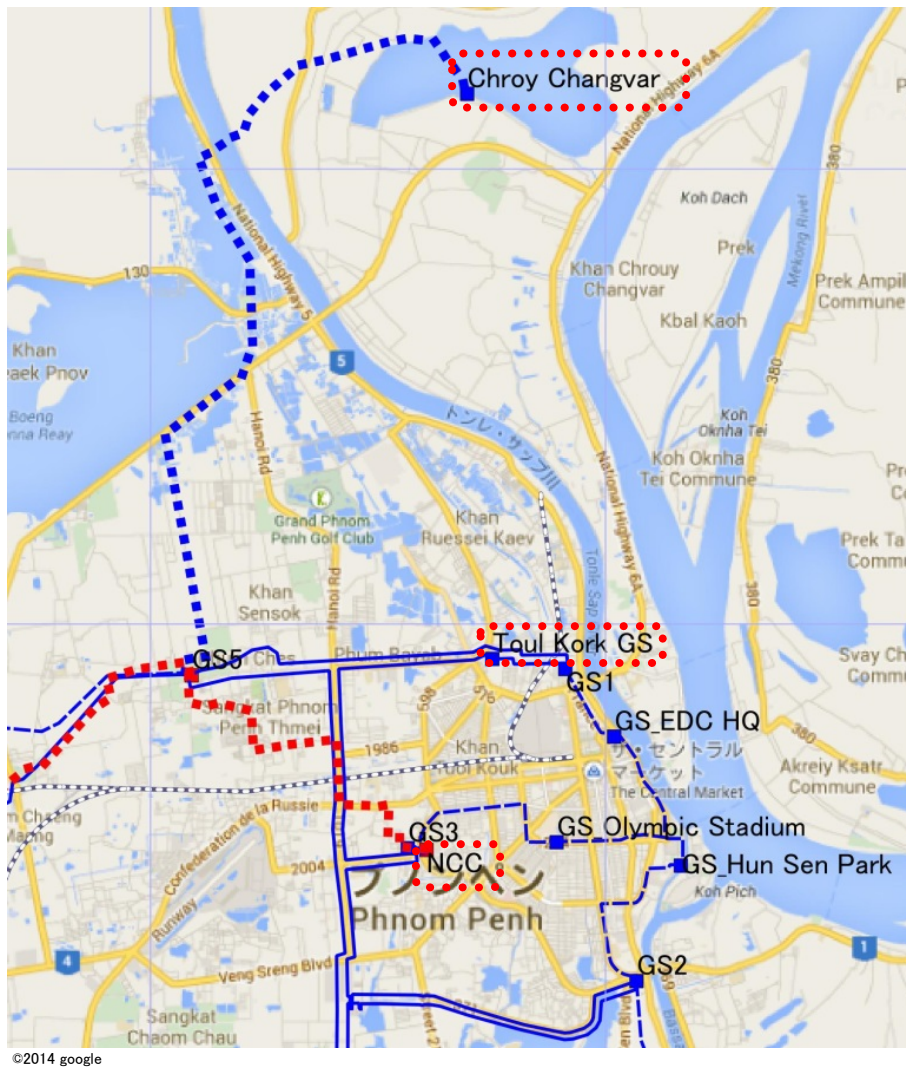
### 4.3 変電所の現地調査

現地調査にて確認した既設変電所および新設変電所予定地の一覧を表 4.3-1 に、各変電所の位置図を図 4.3-1 に示す。

**表 4.3-1 既設変電所および新設変電所予定地**

既設・新設	変電所名	増設・改修作業内容／設備概要
既設	GS3	115kV 地中送電線ベいの増設 通信設備や保護リレー用パネルの増設 Substation Automation System の改修 など
建設中	GS5	230kV 送電線ベいの増設（架空・地中） 115kV 地中送電線ベいの増設 230kV/115kV 連系変圧器の増設 230kV 母線の増設（複母線） 115kV 母線の増設（複母線化） 通信設備や保護リレー用パネルの増設 Substation Automation System の改修 本館建屋増築 など
新設変電所予定地	NCC	230kV/115kV、300MVA 変圧器 1 台 115kV/22kV、75MVA 変圧器 1 台 230kV GIS（地中ケーブル用ベイ、Tr ベイ） 115kV GIS（地中ケーブル用ベイ、Tr ベイ、母連） 22kV Switchgear 変電所本館 など
	Toul Kork	115kV GIS（架空送電用ベイ、Tr ベイ、母連） 115kV/22kV、75MVA 変圧器 1 台 22kV Switch-gear 変電所本館 など
	Chroy Changvar	115kV/22kV、75MVA 変圧器 1 台 115kV 気中絶縁母線、架空送電線ベイ、Tr ベイ、母連 22kV Switchgear 変電所本館 など

出典：JICA 調査団作成



©2014 google

出典：JICA 調査団作成

図 4.3-1 フェーズ 2 対象変電所の位置図

#### 4.4 新設配電線ルート

##### 4.4.1 変電所新設候補地の状況

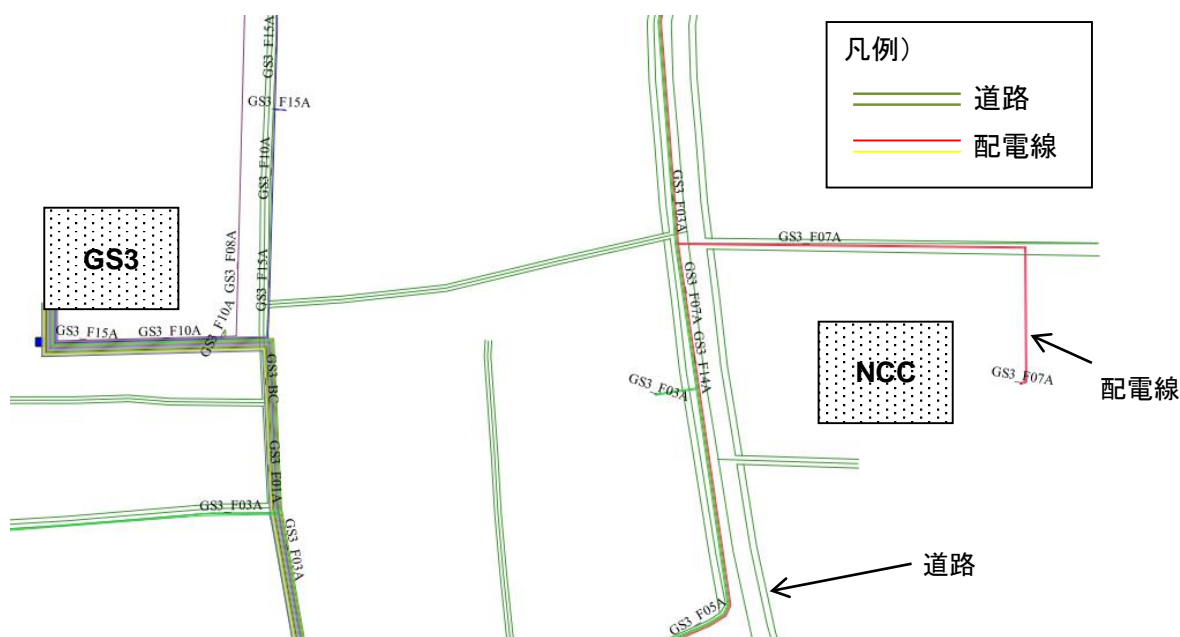
###### (1) NCC 周辺地区

NCC の周辺には地中配電線が敷設されているが、現地調査においてはその敷設状況を容易に特定できないため、EDC が所有する地図情報システムのデータを活用しながら、おおよその配電線ルートを確認した。



出典：JICA 調査団加筆

図 4.4-1 NCC 周辺の様子



出典：EDC

図 4.4-2 NCC 周辺の配電線

###### (2) Toul Kork 地区

Toul Kork 地区は住宅などの比較的小さな建物が多い地域で、現時点において架空配電線が整備されている。



図 4.4-3 Toul Kork 地区の様子

### (3) Chroy Changvar 地区

Chroy Changvar 地区には既に 1 回線の 22kV 架空配電線が整備されている。これは、プノンペン中心と同地区を結ぶ The Garden City Bridge に添架されてトンレサップ川を横断し、開発予定地区の中心を横断する道路に沿ったルートで敷設されたものである。

これに加え、同じルートでもう 1 回線の 22kV 架空配電線が建設中であることを、第 1 回現地調査において確認した。EDC から聞き取ったところ、この配電線は本年 6 月に運用が開始されるとのことであった。



図 4.4-4 橋梁への添架

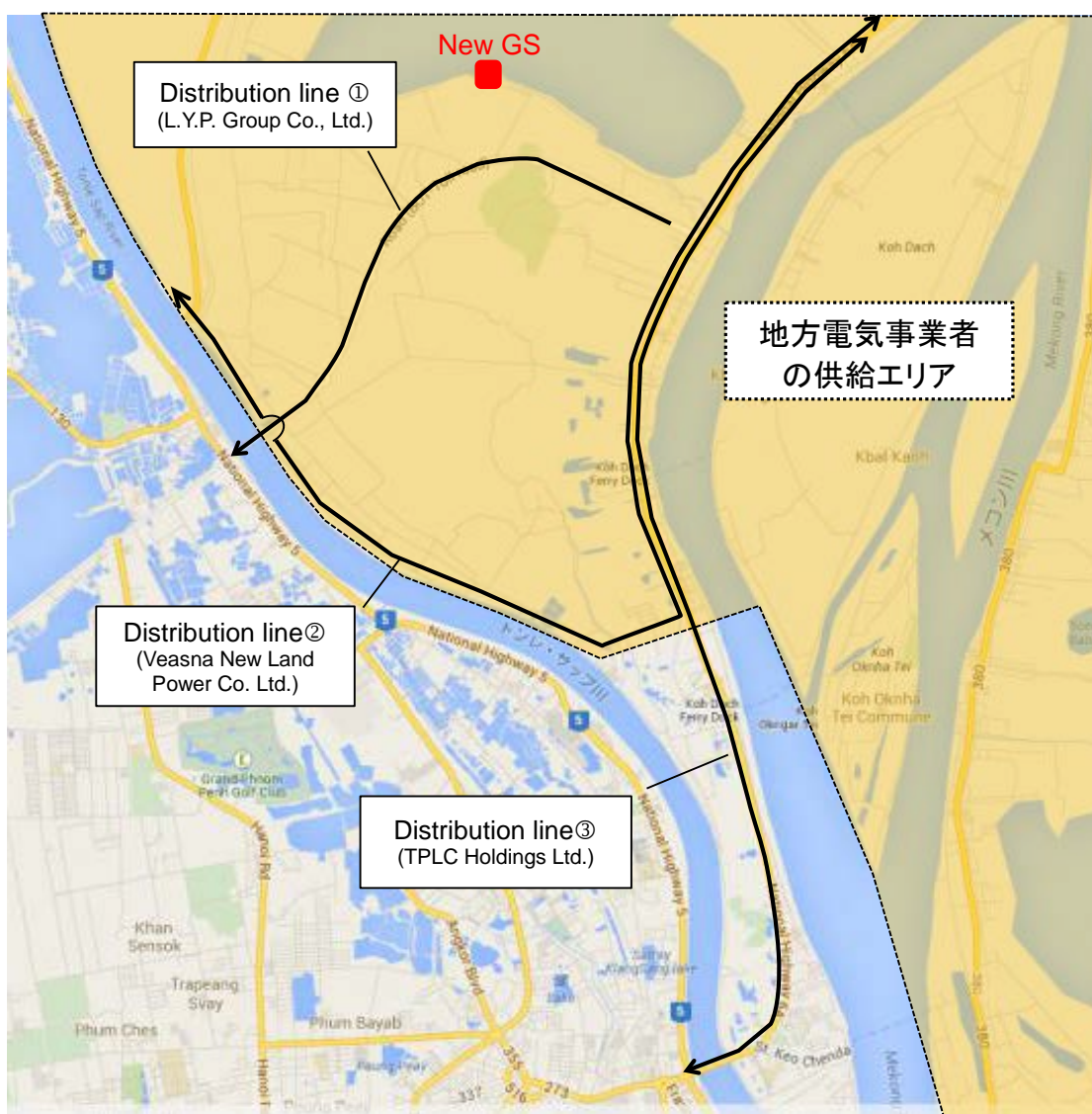


図 4.4-5 Chroy Changvar 地区の様子

出典：JICA 調査団加筆

一方、同地域は、カンボジア電力庁（EAC : Electricity Authority of Cambodia）よりライセンスを取得した地方電気事業者（REE : Rural Electricity Enterprise）が配電・小売を行うエリアとなっており、EDC 以外が所有する配電設備も整備されている。第2 回現地調査では、これらの整備状況も一部確認できた。

EDC からの聞き取りによると、同地区においては、EDC 以外に3 社の REE（L.Y.P. Group Co., Ltd., Veasna New Land Power Co., Ltd., TPLC Holdings Ltd.）の配電設備が存在しているとのことであった。また、これらの配電線は EDC の配電線もしくは変電所に接続され、接続点には取引用の電力量計が設置されている。



©2014 google

出典：JICA 調査団作成

図 4.4-6 REE の配電設備



#### 4.4.2 送電線新設ルートに伴う既設配電線への影響

第1次現地調査においてGS5～Chroy Changvar 地区への115kV送電線ルート候補地を調査した結果、そのルートの一部に22kV配電線が既に設置されていることが判明した。

送電線ルートは、最終的にはEDCと合意した上で決定されることになるが、仮に既設の配電線と同一ルートとなる場合、既設配電線の改造工事が必要となる。

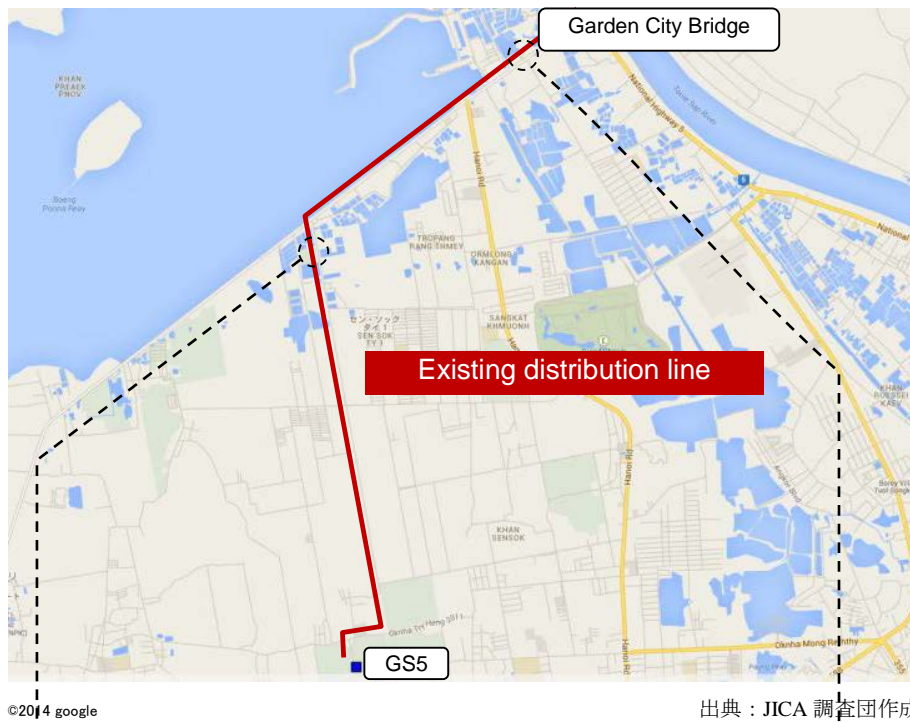


図 4.4-7 既設配電線ルート



図 4.4-8 既設配電線

## 第 5 章

# 概略設計の対象となる整備計画の決定

## 第5章 概略設計の対象となる整備計画の決定

### 5.1 最適計画案の策定

#### 5.1.1 比較対象とする代替案

比較対象とする代替案については、本事業の対象として表 1.2-1 に示した案を対象に、現地調査、解析結果等を踏まえた比較・評価に基づいた総合判定により本事業にとっての最適計画案の策定を図る。

具体的な系統構成の比較・評価は、次に示す2ステップで検討する。

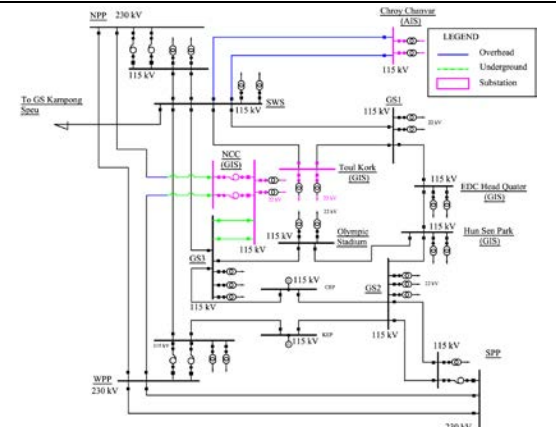
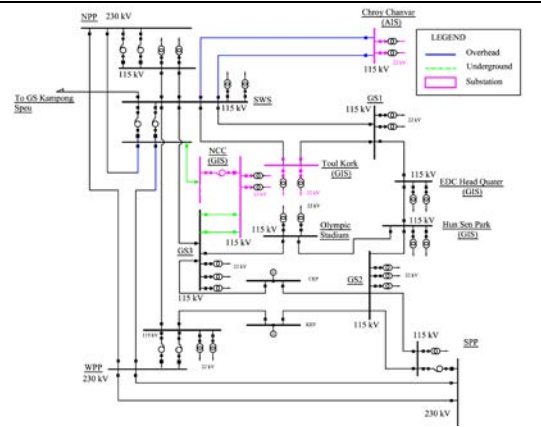
ステップ1      Alternative 1 と Alternative 2 を基本として市内周辺の最適な基幹系統構成を選定する。

ステップ2      ステップ1で選定された最適な基幹系統構成における Toul Kork 新設変電所の系統への連系方式の最適化を図る。

#### 【ステップ1】

表 5.1-1 に示す、Alternative 1 と Alternative 2 の基幹系統構成案に対し、①信頼性、②系統損失、③潮流ネック、④建設コスト、⑤建設容易性等の評価項目について定性・定量評価を行い、総合勘案のもと最適系統案を選定した。

表 5.1-1 市内周辺の基幹系統構成案

Plan	Alternative 1	Alternative 2
特徴	市内周辺まで 230kV 系統を導入すると共に 230kV 系統を市内中心部まで導入し、115kV 系統と共に市内需要へ電力供給する。	市内周辺まで 230kV 系統を導入し市内中心部は 115kV 系統で市内需要へ電力供給する。
系統図		

出典：JICA 調査団作成

【ステップ2】

ステップ1で選定された市内周辺の最適基幹系統において Toul Kork 新設変電所の系統への接続方法について、ステップ1同様、①信頼性、②系統損失、③潮流ネック、④建設コスト、⑤建設容易性等の評価項目に関する定性・定量評価を行った上での総合勘案に基づき、Toul Kork 新設変電所の最適系統接続案を選定した。

表 5.1-2 Toul Kork 新設変電所の系統接続案

Plan	Alternative A	Alternative B
特徴	Toul Kork 新設変電所は、近傍の既設 115kV 送電線から π 引き込みで、系統に連系する。	Toul Kork 新設変電所は、GS5 と NCC*からのそれぞれ新設 115kV 送電線、1 回線で系統に連系する。
系統図		

\*NCC：中央給電指令所（National Control Center）

出典：JICA 調査団作成

以下、各評価項目の具体的比較内容について記述する。

5.1.2 代替案の比較

(1) 市内周辺の基幹系統構成

市内周辺の基幹系統構成として、前述の Alternative 1 及び Alternative 2 について以下に比較評価した。

1) 建設コストの比較

Alternative 1 については、外周の 230kV 基幹系統より直接市内中心部の NCC まで 230kV 架空及び地中線を導入すること考えている。また、Alternative 2 については市内負荷近傍の GS5 まで 230kV 架空線を導入し、更に 230kV 送電線で負荷中心の NCC まで導入する考えである。両案とも共通して 115kV 系統増強を考えており、この両案の建設コスト比較を行った。

結論的には、Alternative 1 の NCC への 230kV 地中送電線の建設コストが高く、Alternative 2 の建設コストが大幅に低い結果となった。

## 2) ロスの比較

Alternative 1 及び Alternative 2 の案では、変電所の個所数(変圧器の総容量)が異なるが、変圧器の有効電力損失は、無視できる程度と考えられる。また、配電線の有効電力損失もどの案においても同様と考えて比較の対象から除外し、送電線の有効電力損失のみを送電ロスとして比較する。

比較の方法として、年間系統損失の想定方法は、次の2つに大別される。

- 代表期間〔雨季・乾季及び中間・夜間の4断面〕の潮流解析結果
- 年間のピーク潮流断面から、負荷率等を活用した実験式

本調査では、フェーズ1との整合をとるため実験式を用いて各系統の年間損失を計算した。結果は表 5.1-3 に示すとおりである。

表 5.1-3 送電ロスのコスト比較

Items	Alternative 1	Alternative 2
2020年ピーク潮流時損失 [MW] (ピーク時系統容量:954.1MW)	30.29	27.62
年間損失 [MWh]	146,733	133,799
Loss Cost [million US\$/Annual]	2.07	Base

出典：JICA 調査団作成

ここで算出したロスは、JICA 調査団による当該地域における需要想定見直し後の当該系統潮流予測に基づいた解析結果である。

年間ロス計算の計算式及び使用諸元は以下の通りである。

### 年間ロス計算の計算式

$$W = w G H [Wh]$$

w: Loss at maximum load

$$G = a F + (1-a) F^2 (G: Coefficient of Loss)$$

H: Time of a Period [hour], a year = 8,760 [hours]

F: Load Factor = (Average load) / (Maximum load)

a: Constant Value

a = 0.3, F = 70% として計算すると、G = 0.553

Alternative 1 と Alternative 2 を比較すると、建設コスト、送電ロスともに Alternative 2 の方が低い。また、230kV 系統の市内導入工事の容易性を考慮すると Alternative 2 の方が Alternative 1 よりも推奨される。

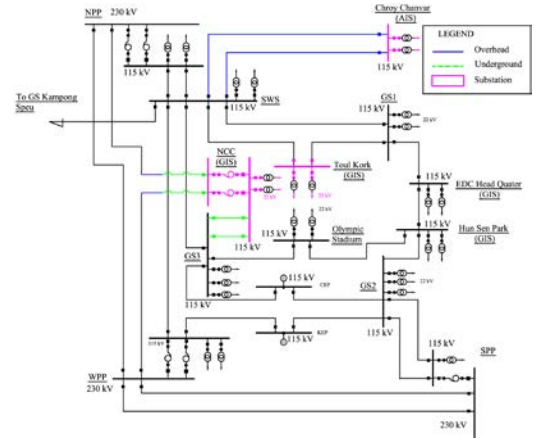
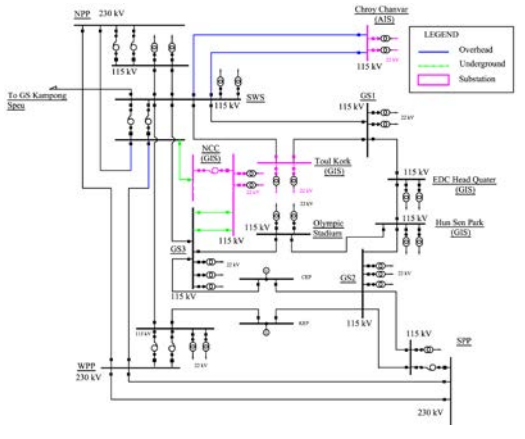
3) 供給信頼度の比較

(a) 各案の供給信頼度の違い

送電線および配電線の事故時における各案の供給信頼度の違いを以下に示す。

230kV 架空送電設備事故時の影響は、Alternative 1 と Alternative 2 では大きな差はない。市内系統がループ運用でない場合の GS5~NCC 間の 230kV 地中送電線事故に対して、一時的に新設変電所、NCC の停電発生が想定されるが、後述するように事故発生頻度は極端に低く、両案の供給信頼度に大差はない。

表 5.1-4 市内周辺の基幹系統構成案の供給信頼度

Plan	Alternative 1	Alternative 2
特徴	市内周辺まで 230kV 系統を導入すると共に 230kV 系統を市内中心部まで導入し、115kV 系統と共に市内需要へ電力供給する。	市内周辺まで 230kV 系統を導入し市内中心部は 115kV 系統で市内需要へ電力供給する。
系統図		
230kV, UG GS5~NCC	無	NCC は停電する。
230kV, OH NPP~WPP	無	無
停電期待値	-----	0.5MWh

出典：JICA 調査団作成

(b) 送配電設備の事故率

送配電設備の事故発生確率と事故時の停電時間を予測するのは非常に難しい。  
230kV 送電線の最近の事故実績は表 5.1-5 の通りである。

表 5.1-5 最近の 230kV 送電線の事故実績

Year	Date	Duration [H]	Location	Cause	Not Supplied Power [MW]
2013	27-Oct	0.54	GS Kampong Chhnang	Tree or Something	33.05
	1-Nov	0.24	GS O'soam ~ Lower Stung Russey Chrum	Tree or Something	137.89
	3-Nov	0.22	GS O'soam ~ Lower Stung Russey Chrum	Tree or Something	40.34
	21-Nov	0.40	GS O'soam ~ GS Pursat	Un known Fault	No Load

出典：JICA 調査団作成

230kV 送電線の事故は実績が少なく、入手情報では年間 4 回発生している。原因を見ると、送電線近傍での樹木伐採に起因した人為的なものがほとんどである。この実態を考慮し、ここでは、以下の条件を仮定して、計算を行う。

- ・ 230kV 系統架空線の事故： 1 年間に 4 回、1 時間、停電発生無し
- ・ 230kV 系統地中線の各回線の事故： 100 年に 1 回、48 時間、平均 100MW 停電発生

参考として、日本の電力会社実績は 1 回/年・4,000km 程度であり、上の地中線事故率の仮定は日本と比較して 2~3 倍程度高くなっているが、「カ」国は、まだ道路掘削機会も多く、妥当な値であると考ええる。

また、事故による停電影響については、事故停電時の系統切り替えによる、100%設備容量までの復旧時間は平均 30 分と仮定すると、シミュレーション結果による年間停電量の期待値は表 5.1-5 に示す 0.5MWh となる。

この期待値は、更なる増強が実施されるまで年々増加すると考えられる。

Alternative 1 と Alternative 2 を比較すると、市内中心の NCC 変電所へ外輪 230kV 系統より直接 230kV 系統を導入するか GS5 を経由して導入するかの違いはあるが、GS5~NCC 間は地中線であるため事故の確率は低く、停電の期待値に大きな差は見られず、この間が 2 回線化すれば停電期待値はなくなり、各案の信頼度の観点からの差はなくなる。

(c) 停電コスト

EDC では、特別に停電コストを試算していないが、同様調査“プノンペン送配電網

整備事業準備調査（フェーズ 1）” で、「カ」国における国民総生産（GDP：Gross Domestic Product）と電力使用量（販売電力量）の関係から停電コストとしては、kWh あたり 1 US\$ が妥当なレベルであると試算している。

各案比較においては、評価方法の整合を図るため、今回評価においても、停電コストとして kWh あたり 1 US\$ で評価するものとする。

#### 4) 総合評価

以上、送電損失、建設コスト等の各比較項目の評価を含めて、各案の経済性を比較した結果を表 5.1-6 に示す。

表 5.1-6 総合評価

	Alternative 1	Alternative 2
系統信頼度 [停電] のコスト評価	Almost Same	Base
系統ロスのコスト評価	A Little High	Base
潮流ネック	SPP 変圧器の過負荷	無
毎年の資本費用 [含む環境影響対策費用]	Very High	Base
当該プロジェクト建設の容易性	困難	容易
総合年経費	Very High	Base

出典：JICA 調査団作成

総合年経費を見ると Alternative 2 が経済的である。また、送電設備の事故の発生確率、事故時の停電時間、停電コストの単価によっては、少しの違いはあるものの、両案の建設コストの差が総合年経費の優劣を支配すると考えられる。

上述の通り、停電コストについては、kWh あたり 1 US\$ を基準ケースとしており、プノンペン市内においては、停電時の影響が大きいと想定されるが、停電コストの単価の変動はあるものの総合年経費への影響は少ない。

また、現地調査結果を踏まえても、230kV 系統の市内中心、NCC への導入は長距離地中送電線施工となり、交通支障を含めた社会環境影響も大きく、建設費の増加もまねいている。

以上の当初工事費、建設工事の容易性等を総合勘案すれば、Alternative 2 を選択するのが望ましいと考える。



(2) Toul Kork 新設変電所の系統への接続方法について

Toul Kork 新設変電所の系統への接続方法について前述の Alternative A 及び Alternative B について以下に比較評価した。

1) 建設コストの比較

Alternative A については、近傍の既設 115kV 送電線から  $\pi$  引込で系統へ連系する。一方、Alternative B については、GS5 及び NCC からそれぞれ新設 115kV 地中送電線にて 1 回線で系統へ連系するものである。

両案の建設コストを比較した場合、Alternative B は、新設の 115kV 地中送電線の建設が必要であり、Alternative A より建設コストが高い。

2) 供給信頼度の比較

系統解析の結果、両案とも、一カ所の設備事故に関しても、関連設備の過負荷、停電も発生しない。それ故、両案の供給信頼度は、同等と評価できる。

3) 送電ロスの比較

系統解析結果によれば、Alternative B は、Toul Kork 新設変電所の負荷が GS5 及び NCC と遠回りで送電されるため、Alternative A 案よりも送電ロスが高くなっている。

4) 総合評価

以上、送電損失、建設コスト等の各比較項目の評価を含めて、総合評価した結果を表 5.1-7 に示す。

表 5.1-7 総合評価

	Alternative A	Alternative B
系統信頼度	問題なし	
系統ロス	Base	High
潮流ネック	問題なし	
建設コスト	Base	High
建設の容易性	容易	困難
総合評価	推奨	---

出典：JICA 調査団作成

以上の通り、系統解析結果及び建設コスト等を比較評価し、総合懸案すれば、建設コストも安価で信頼度的にも問題のない Alternative A が推奨される。

## 第 6 章 地質調査

## 第6章 地質調査

### 6.1 地質調査概要

計画変電所の機器および送電線鉄塔に対する地質状況、特に地盤支持力を確認するため、14本のボーリングを実施した。

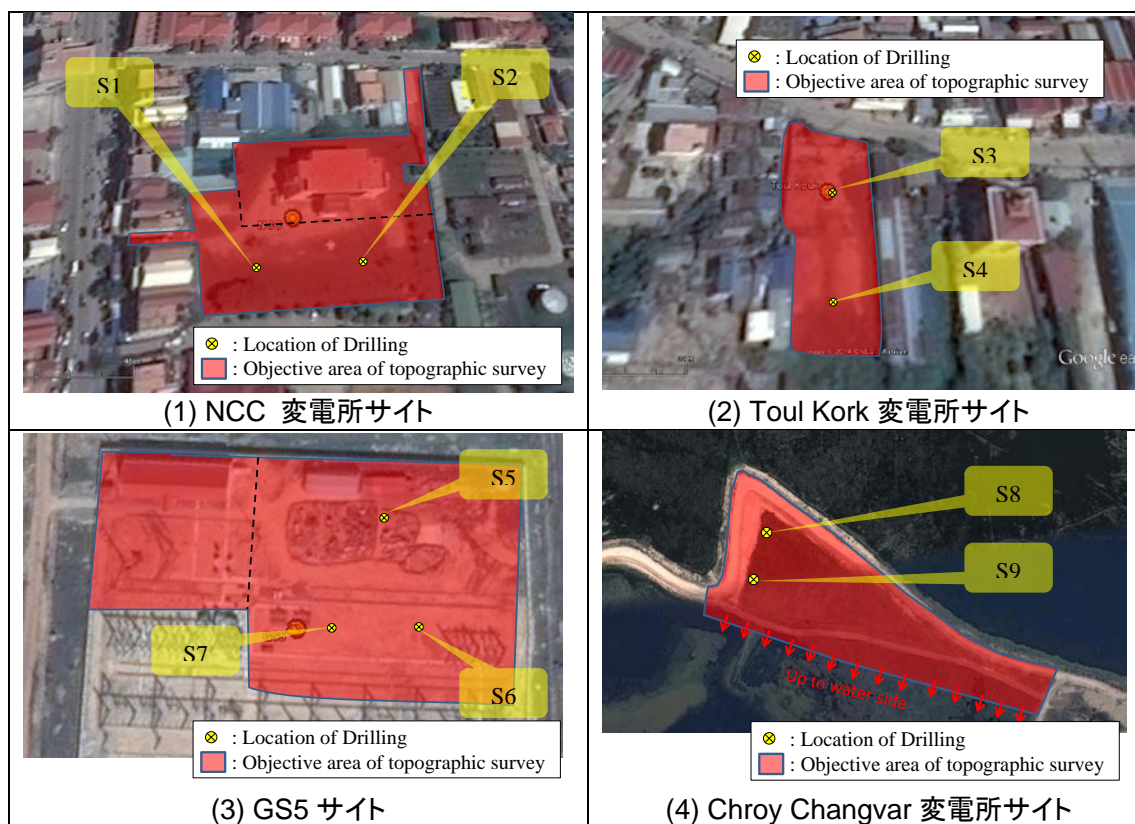
14本のボーリングの配分は下記のとおり。

変電所サイトのボーリング：合計9本（図 6.1-1 および表 6.1-1 参照）

- 中央給電指令所（NCC）サイト.....2本
- Toul Kork 変電所サイト .....2本
- Chroy Changvar 変電所サイト .....2本
- GS5 サイト.....3本

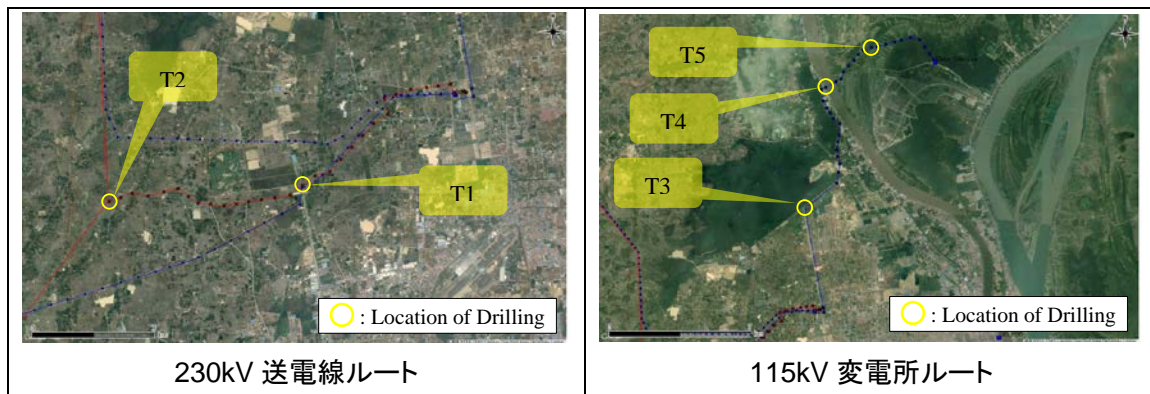
送電線ルート上のボーリング：合計5本（図 6.1-2 および表 6.1-1 参照）

- 230kV 送電線ルート（Plan 3、Alternative 2） .....2本
- 115kV 送電線ルート（GS5 – Chroy Changvar 間） .....3本



出典：JICA 調査団加筆

図 6.1-1 変電所サイトのボーリング実施位置 (Google Earth 衛星写真)



出典：JICA 調査団加筆

図 6.1-2 送電線ルート上のボーリング実施位置(Google Earth 衛星写真)

表 6.1-1 ボーリングの位置座標

No.	Borehole No.	Site	Coordination	
			Easting	Northing
1	S1	NCC Substation (O Bek Ka Orm)	487759	1277252
2	S2	NCC Substation (O Bek Ka Orm)	487801	1277255
3	S3	Toul Kork Substation	489221	1281345
4	S4	Toul Kork Substation	489221	1281305
5	S5	GS5	482764	1281059
6	S6	GS5	482780	1281019
7	S7	GS5	482743	1281016
8	S8	Chroy Changvar Substation	488653	1293456
9	S9	Chroy Changvar Substation	488633	1293386
10	T1	Transmission line 230kV Mid point WPP/NPP to GS5	478878	1278792
11	T2	Transmission line 230kV Mid point WPP/NPP to GS5	474097	1278396
12	T3	Transmission line 115kV to Chroy Changvar SS	482136	1286158
13	T4	Transmission line 115kV to Chroy Changvar SS	483190	1292173
14	T5	Transmission line 115kV to Chroy Changvar SS	485450	1294126

[備考] 座標系は UTM WGS-84

出典：JICA 調査団加筆

## 6.2 地質調査結果および基礎タイプの考察

経験的なデータに基づいた N 値と許容地耐力  $q_a$  の関係の目安として、下記 \*が挙げられる。

礫 層 :  $q_a = 5N$  [kN/m<sup>2</sup>]

砂 層 :  $q_a = 10N$  [kN/m<sup>2</sup>]

粘性土層 :  $q_a = (25\sim 50)N$  [kN/m<sup>2</sup>]

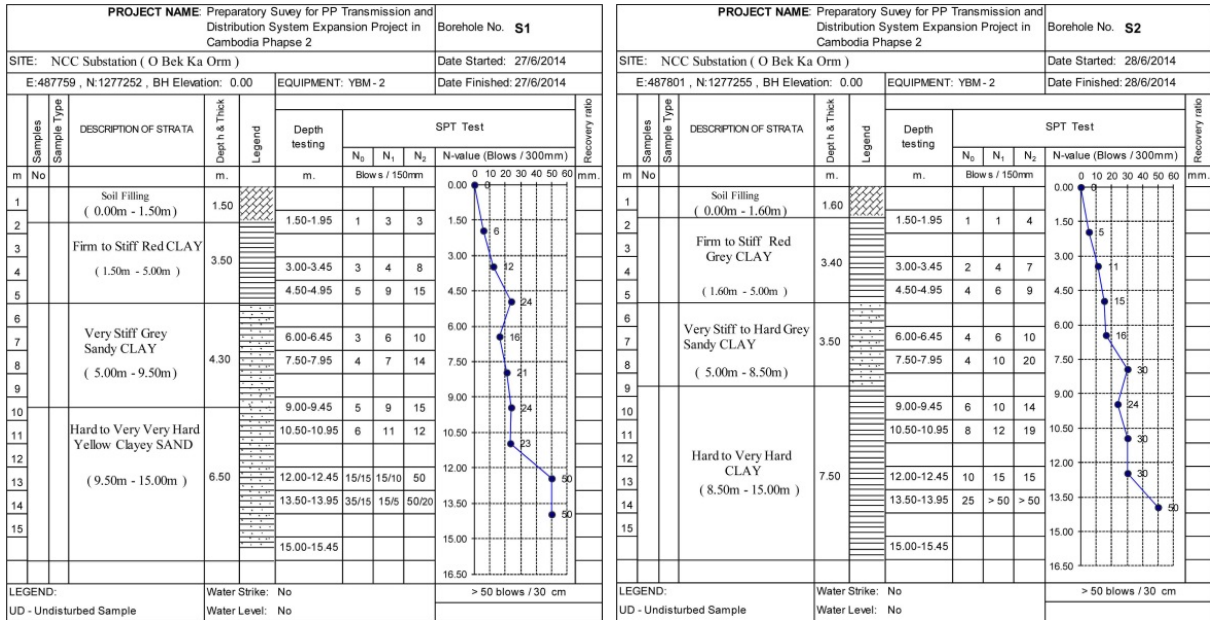
通常、直接基礎（送電線鉄塔での Pad & Chimney および Mat タイプ基礎）の適用範囲は深さ 5m 程度までである。そして、送電線鉄塔では通常、直接基礎に対して許容地耐力 50～100 kN/m<sup>2</sup> (0.5～1.0 kg/cm<sup>2</sup>) 以上を必要とする。また、変電所機器の直接基礎に対しては、基礎面積に対して使用可能な面積を考慮すると、許容地耐力 100～200 kN/m<sup>2</sup> (1.0～2.0 kg/cm<sup>2</sup>) 以上が必要と思われる。すなわち、深さ 5m にてこれらの許容地耐力が満足され、さらに深い箇所でもこの地耐力が確保できる場合、直接基礎の適用が可能となる。直接基礎が適用できない場合は杭基礎が適用される。

以下では、ボーリング調査結果と想定される基礎タイプについて述べる。ボーリング調査結果の詳細については Appendix 2 参照。

\*: 坂口 理 : N 値による地盤の評価, 基礎工, Vol.10, No.6, 1982

6.2.1 NCC 変電所サイト

NCC 変電所サイトの地質調査結果を図 6.2-1 に示す。



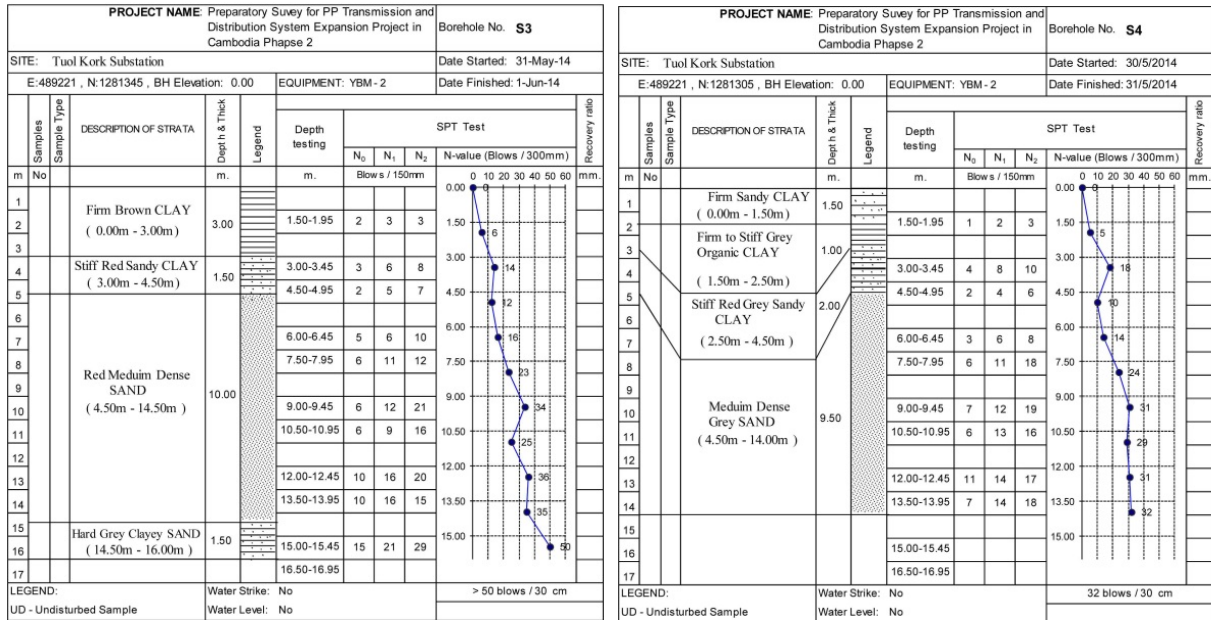
出典：JICA 調査団

図 6.2-1 地質調査結果(NCC 変電所サイト:S1 および S2)

深さ 3.5 m の粘性土層にて N 値 11 または 12 ( $q_a \geq 270\text{kN/m}^2 = 2.7\text{kg/cm}^2$ ) が得られ、深度に伴い N 値がこれらの値を下回ることもない。通常規模の直接基礎が十分適用できる。

### 6.2.2 Toul Kork 変電所サイト

Toul Kork 変電所サイトの地質調査結果を図 6.2-2 に示す。



出典：JICA 調査団

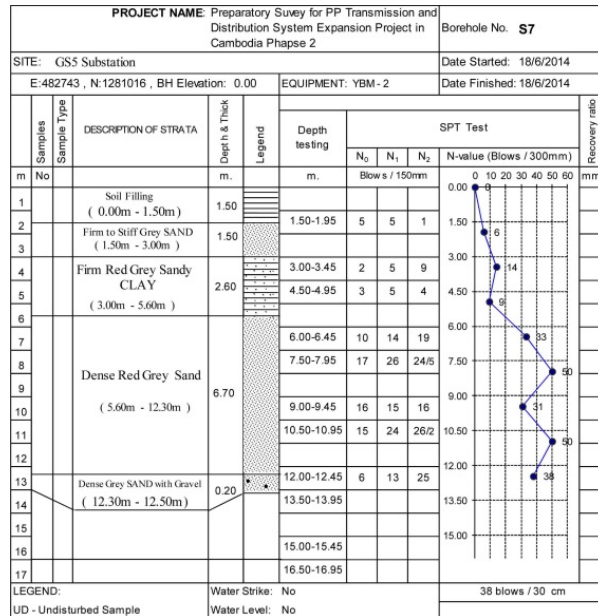
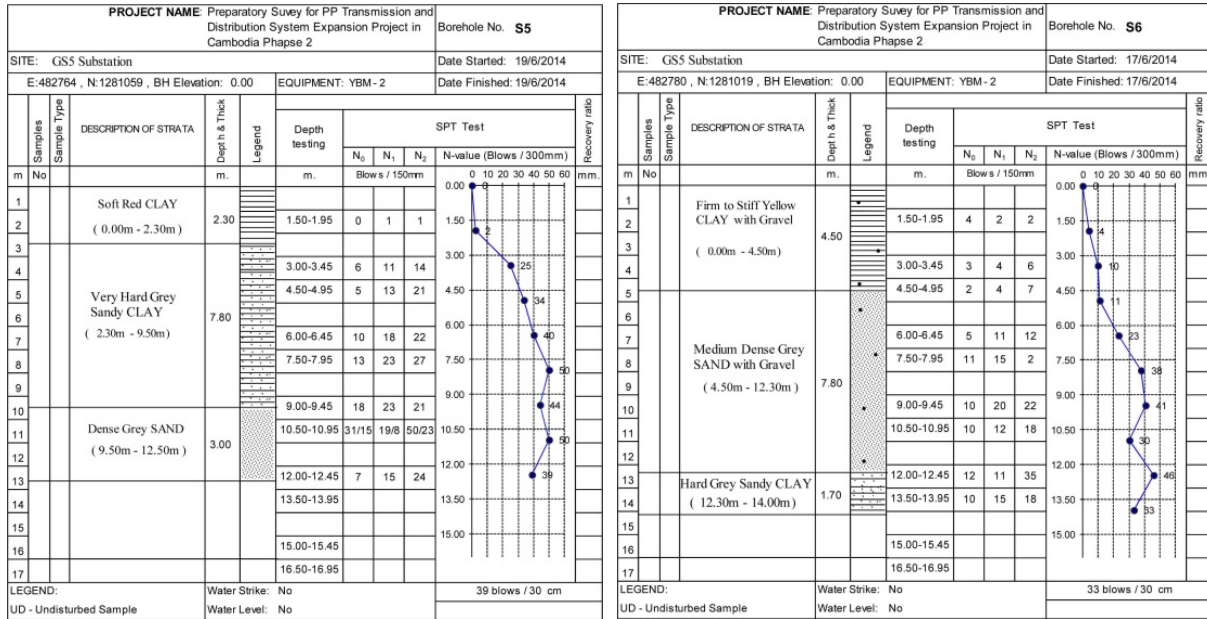
図 6.2-2 地質調査結果(Toul Kork 変電所サイト:S3 および S4)

深さ 3.5 m の粘性土層にて N 値 14 または 18 が得られ、深度に伴い砂質土になるが N 値は 10 値 ( $q_a \geq 100\text{kN/m}^2 = 1.0\text{kg/cm}^2$ ) を確保している。通常規模の直接基礎が十分適用可能な範囲である。

6.2.3 GS5 サイト

GS5 サイトの地質調査結果を図 6.2-3 に示す。

深さ 3.5 m の砂質粘性土層にて N 値 10 以上 (安全側で  $q_a \geq 100\text{kN/m}^2 = 1.0\text{kg/cm}^2$ ) が得られ、深度に伴い N 値 10 を若干下回る層も見られるが、GS5 は敷地も広く重量物は大きめの直接基礎を配置することにより、直接基礎が適用可能であろう。



出典：JICA 調査団

図 6.2-3 地質調査結果(GS5 サイト:S5 および S6、S7)

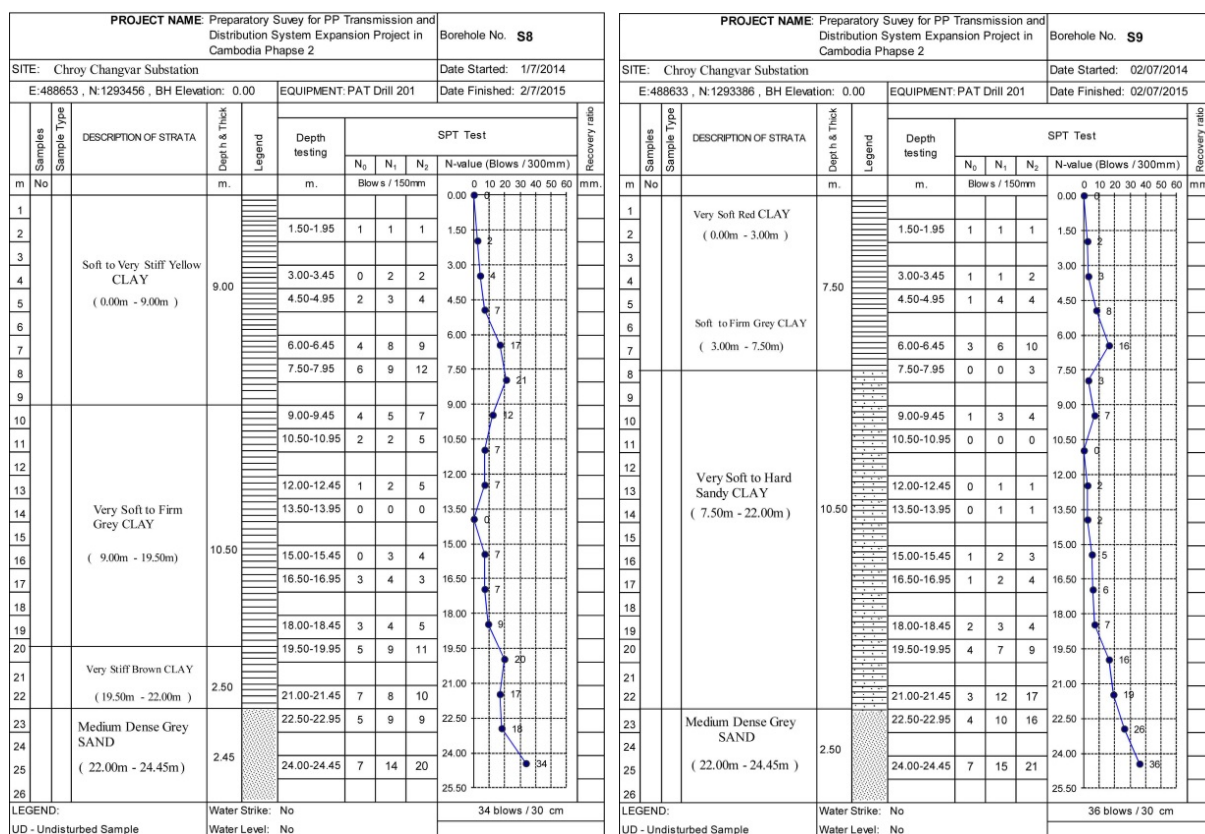


### 6.2.4 Chroy Changvar 変電所サイト

Chroy Changvar 変電所サイトの地質調査結果を図 6.2-4 に示す。

約 20 m の深さまで十分な支持層が得られないため、杭基礎の適用が確実である。

杭の支持力は先端のみならず、周面摩擦にもよるため、杭の長さはそれぞれの機器重量に応じたものとなるが、重量物である変圧器は 25m（深さ 20m+造成 5m）程度の杭基礎が必要になると思われる。



出典：JICA 調査団

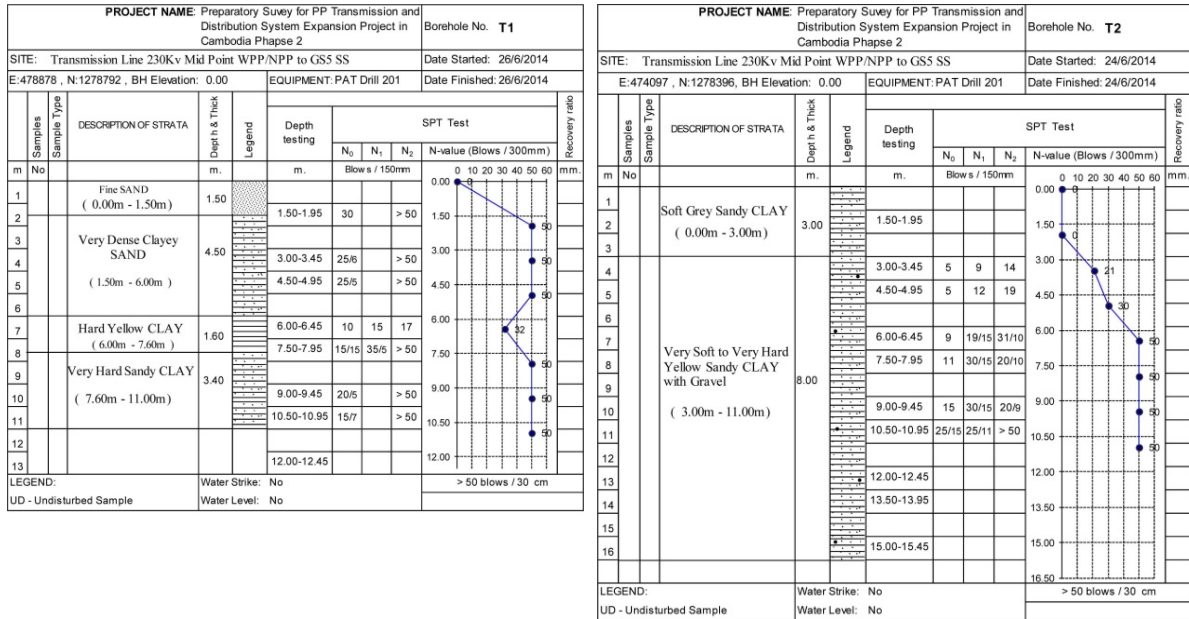
図 6.2-4 地質調査結果(Chroy Changvar 変電所サイト:S8 および S9)

杭の本数は、変圧器以外の機器基礎に対し各 2 本ずつ（機器ベースの形状に合わせた配置）、変圧器基礎に対して 15 本程度（= 150 ton / 10 ton：杭 1 本あたりの支持力 10 ton と仮定）と見込まれる。

### 6.2.5 230kV 送電線ルート

230kV 送電線ルートの地質調査結果を図 6.2-5 に示す。

深さ 3.5 m の粘性土層にて N 値 21 以上（安全側で  $q_a \geq 210\text{kN/m}^2 = 2.1\text{kg/cm}^2$ ）が得られ、深度に伴い N 値がこれらの値を下回ることもない。よって、直接基礎が適用可能であろう。



出典：JICA 調査団

図 6.2-5 地質調査結果(230kV 送電線ルート:T1 および T2)

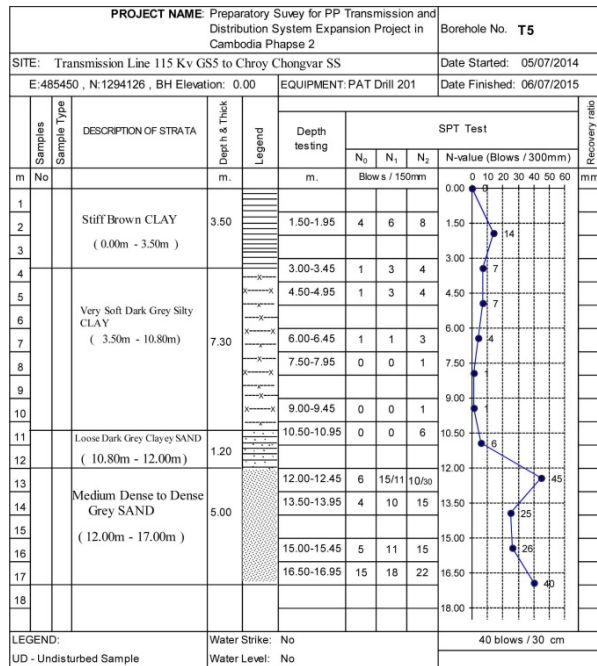
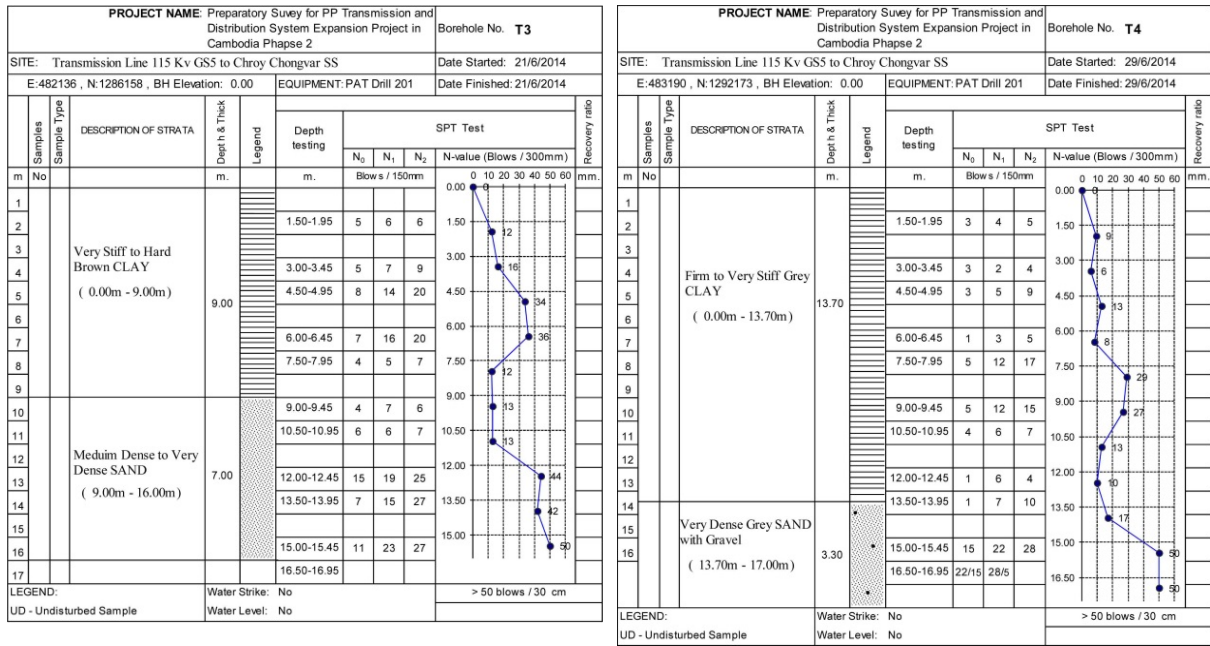
### 6.2.6 115kV 送電線ルート

115kV 送電線ルートの地質調査結果を図 6.2-6 に示す。

鉄柱が想定されている T3 では、深さ 5 m の粘性土層で十分な N 値 (34、 $q_a \geq 850\text{kN/m}^2 = 8.5\text{kg/cm}^2$ ) が得られているが、深度に伴い N 値が低下する層もあり、水辺が近いことから、基礎型は詳細設計・実掘削の上、決定する必要がある。

T4 と T5 は 115kV 鉄塔区間の Tonle Sap 川右岸および左岸にそれぞれ位置する。いずれの N 値も深さ方向かつ継続的に十分な値を満足しない。これらの地域は、浅い層での支持力不足に加え、水辺または雨季の氾濫原に鉄塔が位置することから、ほとんどが杭基礎になる。

杭本数は通常各鉄塔脚に 4～5 本の配置となるため、各鉄塔に対して 16～20 本となる。また、送電線鉄塔の基礎は風圧や架線張力による引上げ力および浮力に対しても安定である必要があり、杭の長さはこれらにより決まる傾向にある。



出典：JICA 調査団

図 6.2-6 地質調査結果(115kV 送電線ルート:T3 および T4、T5)