

土木学会エネルギー委員会（2024年10月15日）



ラオス国電力輸出型大規模水力IPP事業の開発 (ナムニアップ1水力プロジェクト)

山林 佳弘
(株)ニュージエック社長
(元ナムニアップ1社長)

小坂 馨太
関西電力(株)土木建築室
土木部長

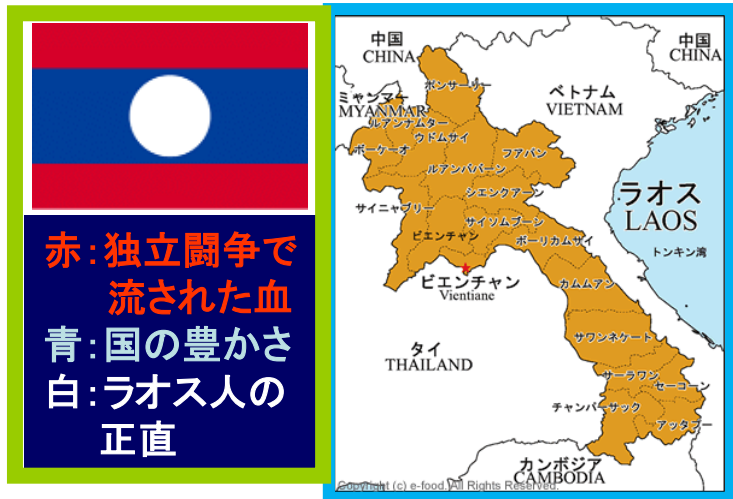
1. 概要
2. 大規模ダム開発（技術的挑戦）
3. 国際共用送変電設備
4. 少数民族移転
5. 生物多様性保全
6. プロジェクトファイナンスの有限責任が
事業開発に果たす役割

1. 概要

- ◆ 国境を越えてラオスからタイへ電気を輸出する水力IPP事業の開発事例をご紹介します。
- ◆ BOOT(Build Own Operate Transfer)-IPP方式による純粋な民間投資事業です。

(注) IPP: Independent Power Producer
(独立卸発電事業。発電設備だけを所有し、発電した電気を電力会社等に売電する事業。)

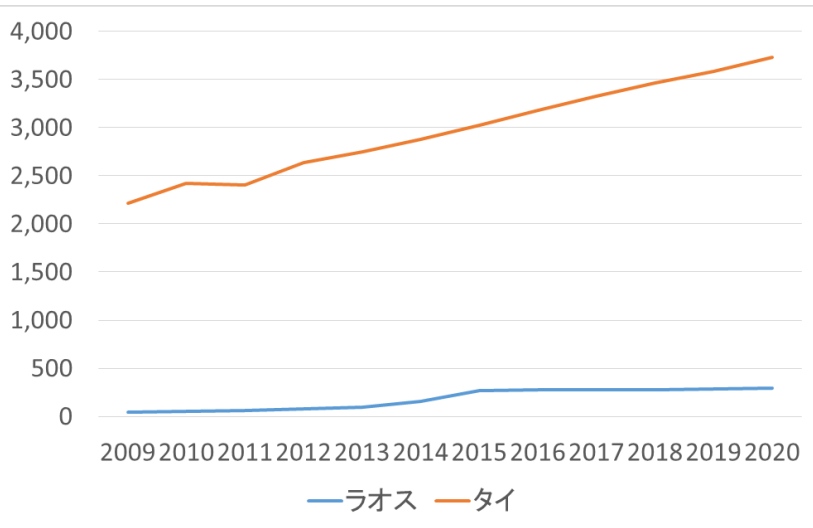
ラオス人民民主共和国



赤: 独立闘争で流された血
 青: 国の豊かさ
 白: ラオス人の正直

電力需要想定

(単位: 万kW)

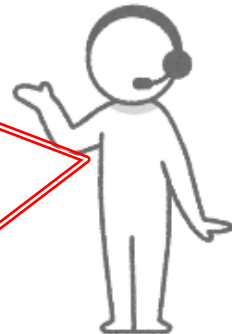


	ラオス	タイ王国
面積	約23万6,800km ²	約51万3,115km ²
人口	約677万人 (2013年)	6,989万2,000人 (2012年推定)
国民総生産	約92億9,892万ドル (2012年)	約3,456億ドル (2011年)
1人あたり国民総所得	約1,260ドル (2012年)	約4,420ドル (2011年)
カントリーリスク	評価D(評点4.3)・75位	評価C(評点6.1)・50位
電力需要	53万kW(2011年)	2,407万kW(2011年)

(出所: 海外電力調査会「海外諸国の電気事業」、R&I「カントリーリスク調査」)

タイへ輸出する理由

1. ラオスには、大規模発電所から売電する**マーケット規模**が無い。
2. ラオス政府の**信用格付け**では、銀行融資が得られ無い。
(但し、包蔵水力は豊富、輸出へ。)



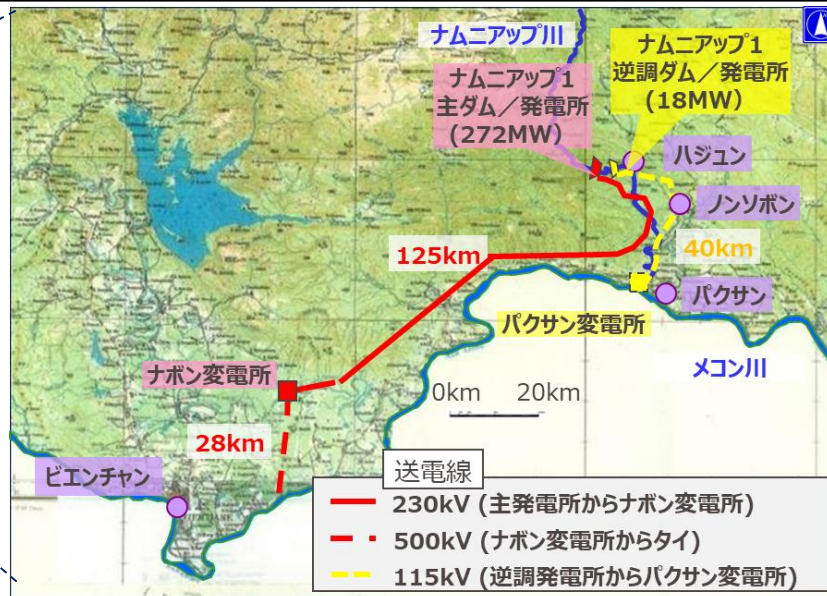
(出典: タイ・ラオス「Power Development Plan」)

- プロジェクト方式：27年間BOT方式によるタイおよびラオス向け水力発電事業
- 最大出力：290MW（主発電所272.8MW(タイ輸出)、逆調発電所17.6MW(国内売電)）

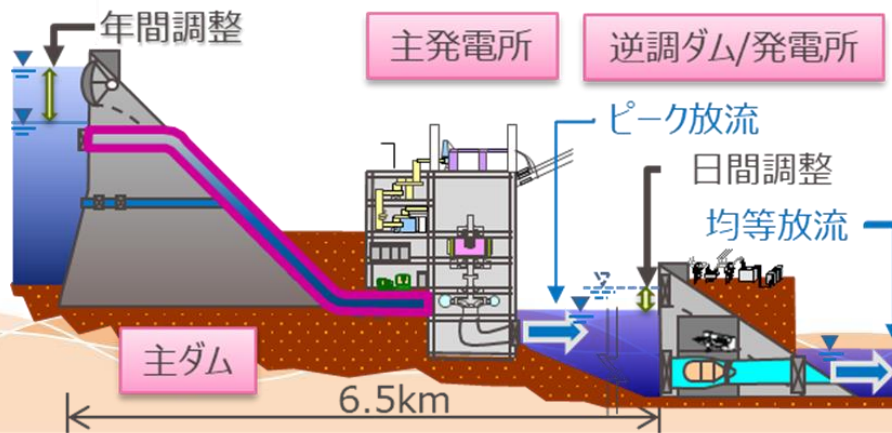


【ラオス国基本データ】
 人口：744万人(2022)
 面積：24万km² 首都：ビエンチャン
 民族：ラオ族を含む計50民族
 公用語：ラオス語 宗教：仏教
 GDP：150億ドル（2022）
 1人当りGDP：2,022ドル（2022）
 経済成長率：4.4%（2022）

※ 外務省HP：ラオス基礎データ より

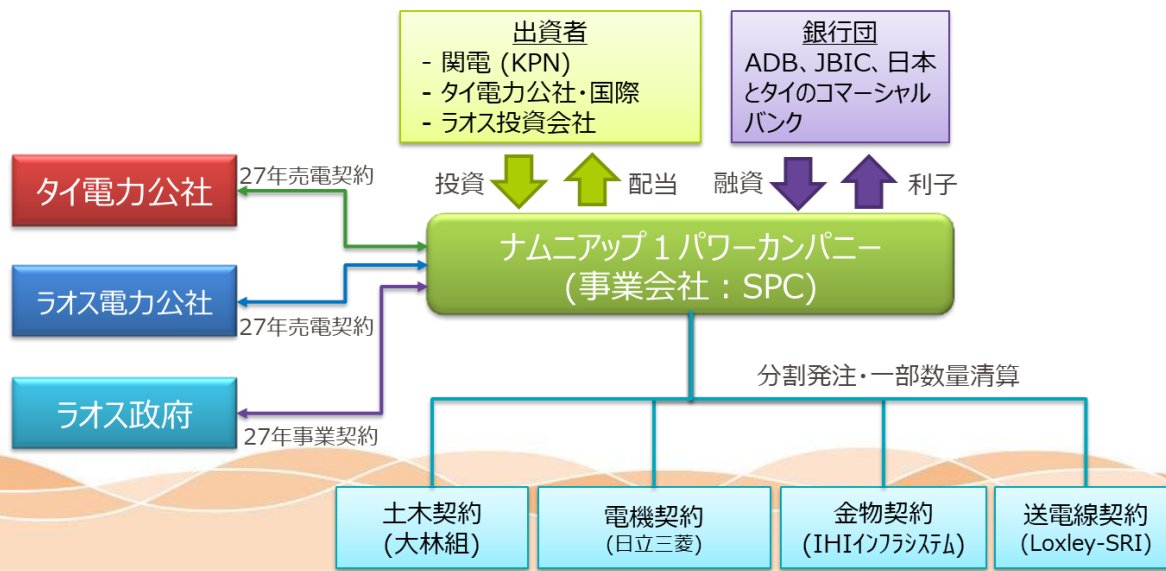


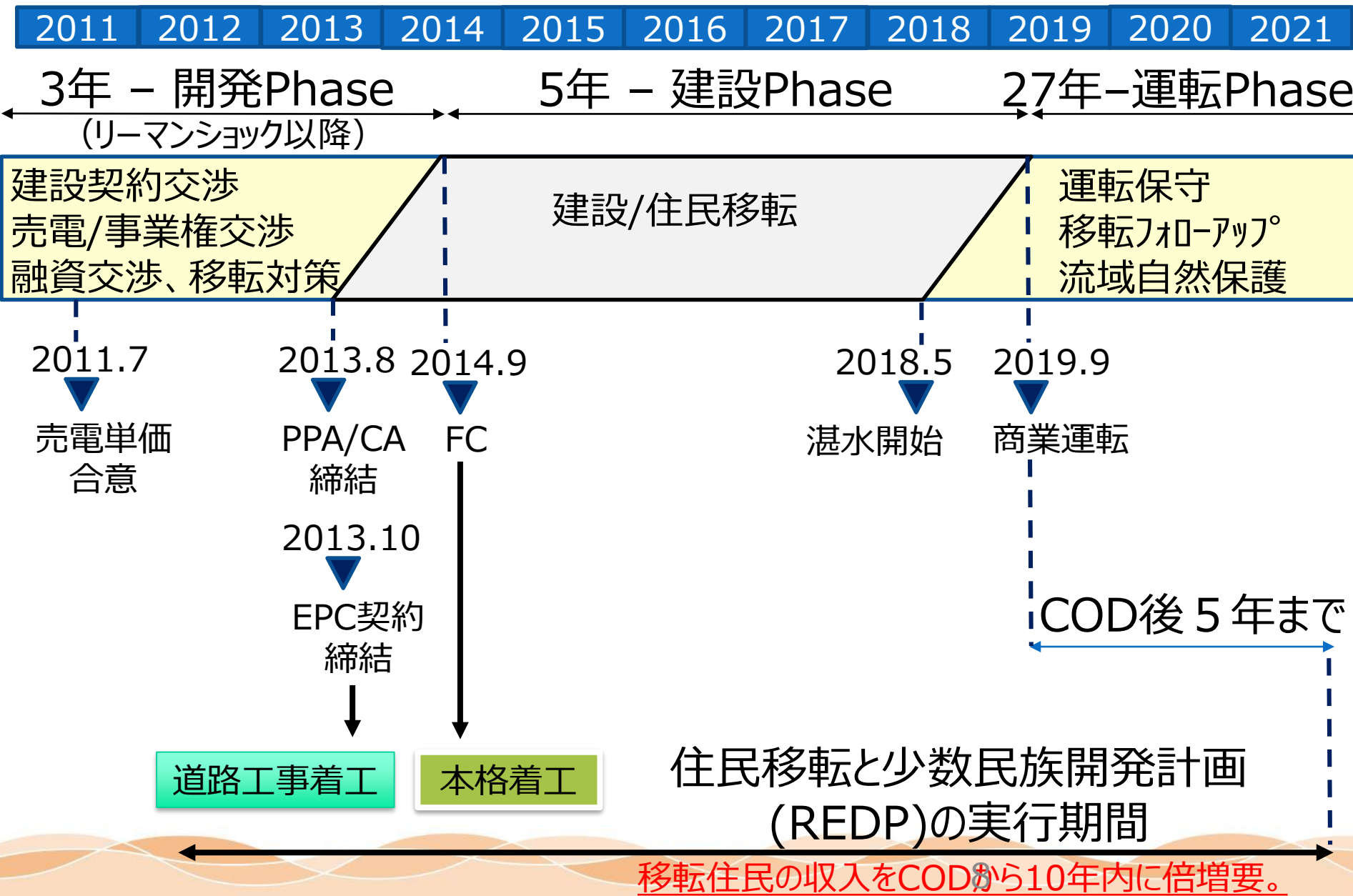
	NNP1	黒部ダム
流域面積 (km ²)	3,700	203
湛水面積 (km ²)	67	3.5
総貯水容量 (億m ³)	22	2
主ダム	高さ (m)	167
	堤体積 (万m ³)	237
主PS	出力 (MW)	272
	有効落差 (m)	131
	電力量 (億kWh)	14.5
逆調PS	出力 (MW)	18
	有効落差 (m)	12
	電力量 (億kWh)	1.1



- ❑ 1998 ~ 2001 事業可能性調査 (JICA)
- ❑ 2005 ~ 2006 関西電力の参画、現地調査と事業開発権締結
- ❑ 2008 建設契約入札の不調、世界経済混乱 (リーマンショック)
- ❑ 2011 ~ 2014 売電契約、融資契約締結、土木工事本格着工 (ダム基礎掘削開始)
- ❑ 2018 住民移転およびRCCダム打設完了、初期湛水開始
- ❑ 2019 商業運転開始

- ラオス国との27年間事業権契約、タイ・ラオス売電契約が事業の主構成契約。
- 工事費低減のため、EPCフルターンキーから分割発注へ。事業会社 (SPC) が設計し、ダム・発電所工事は数量精算。SPCが取り合い調整する。
- 建設主契約をオールジャパン体制とし、品質と工程、安全の確保をはかる。
- 関電から20人程度の商務、土木・電気技術者を派遣、SPC運営、建設工事を監理する。
- 国際銀行団による品質・工程 (技術・環境) ・商務のチェック ⇒ 国際基準の遵守





1. 初期課題

① 国境を超えて電気を輸出するスキームの複雑さ

タイ(政府、電力公社)、ラオス(政府、電力公社)の両国と契約調整することが必要で、単独国での案件の数倍の契約書類および手続きを要す。

(タイ政府：内閣承認、ラオス政府：国会承認)

② ラオス最高のコンクリートダム施工 (品質・工程管理、材料確保、ワーカー確保)

黒部ダムの10倍以上の22億m³貯水量を有する貯水池造成に対する；

③ 山岳少数民族 (モン族) の3,500名の移転、職業支援

④ 自然環境対応 (生物多様性保全に係る流域管理 + オフセットサイトの管理)

⑤ ラオス初の複数IPPが使用する共用変電所の設立

2. 事業実現性の評価 (銀行団)

① 環境・社会影響の非常に大きな案件 (アジア開発銀行にてTriple A評価。

Environment impact: A, Ethnic Minority: A, Resettlement: A)

② 上記ADB評価に加え、財務基盤が弱いラオス政府では共用変電所スキームの構築が困難と銀行団には思われていた。

開発段階を突破することが非常に困難な案件であった

輸出型IPPの開発にかかる手続き

タイ(EGAT)

ラオス

株主/事業会社

融資団

タイ・ラオス電力購入覚書(2011年当時)
(2015年までに5GWの電力をタイがラオスから購入)

売電単価協定締結
2011年

事業開発権締結
(PDA)2006年

PPA、CAの
関係協議

内閣承認

国会承認

売電契約書締結
(PPA)2013年

事業権契約書締結
(CA)2013年

PPA、CAのアジア
開発銀行の
Safeguard
Policy遵守等
の確認

NNP1開発に係る基本協定(CAの一部)

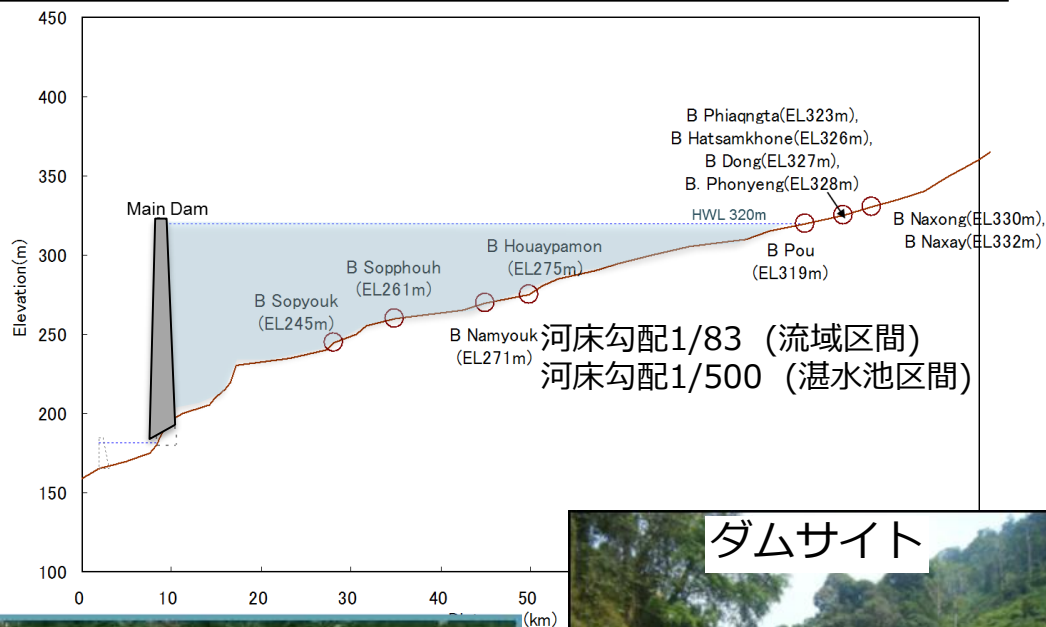
融資協議・契約締結(2014年)

本格工事着工・用地買収・住民移転(2014年～2019年)

2. 大規模ダム開発

1. 地形と河川縦断

上流：河床は急勾配
山あい平坦なところが点在



MAIN DAM

ハジュン村 (Hat Gniun)

下流：川の周辺は平坦な地形
河床は緩勾配、蛇行



2. 経緯：ボーリング調査時の現地（2006年）



対岸へは、ボート、筏で川渡り



宿舎（2006年4月）

2. 経緯：アクセス道路（58.2km）（2013年～）



既設道路

建設前：雨季は通行不能



既設道路舗装完了

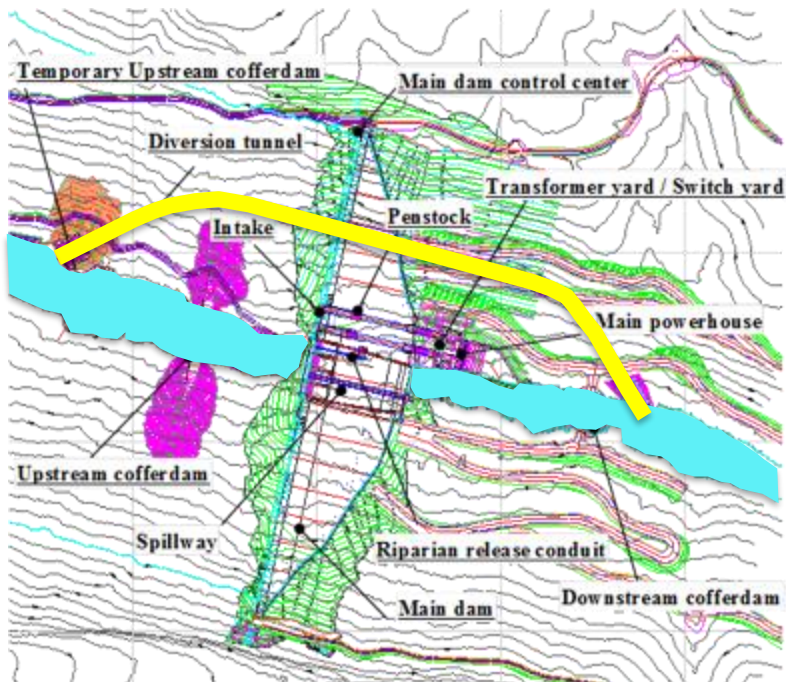


新設完了



Nam Xao橋の建設

2. 経緯：転流トンネル工事（2015年）



転流トンネル；630m,
内径10m, 馬蹄形
設計洪水量1,590m³/s (5年確率洪水量)



トンネル削孔



トンネル貫通2015年6月



コンクリート覆工2015年8月

2. 経緯：転流（2015年11月）



トンネル出口全景（転流前）



トンネル入口での転流工事



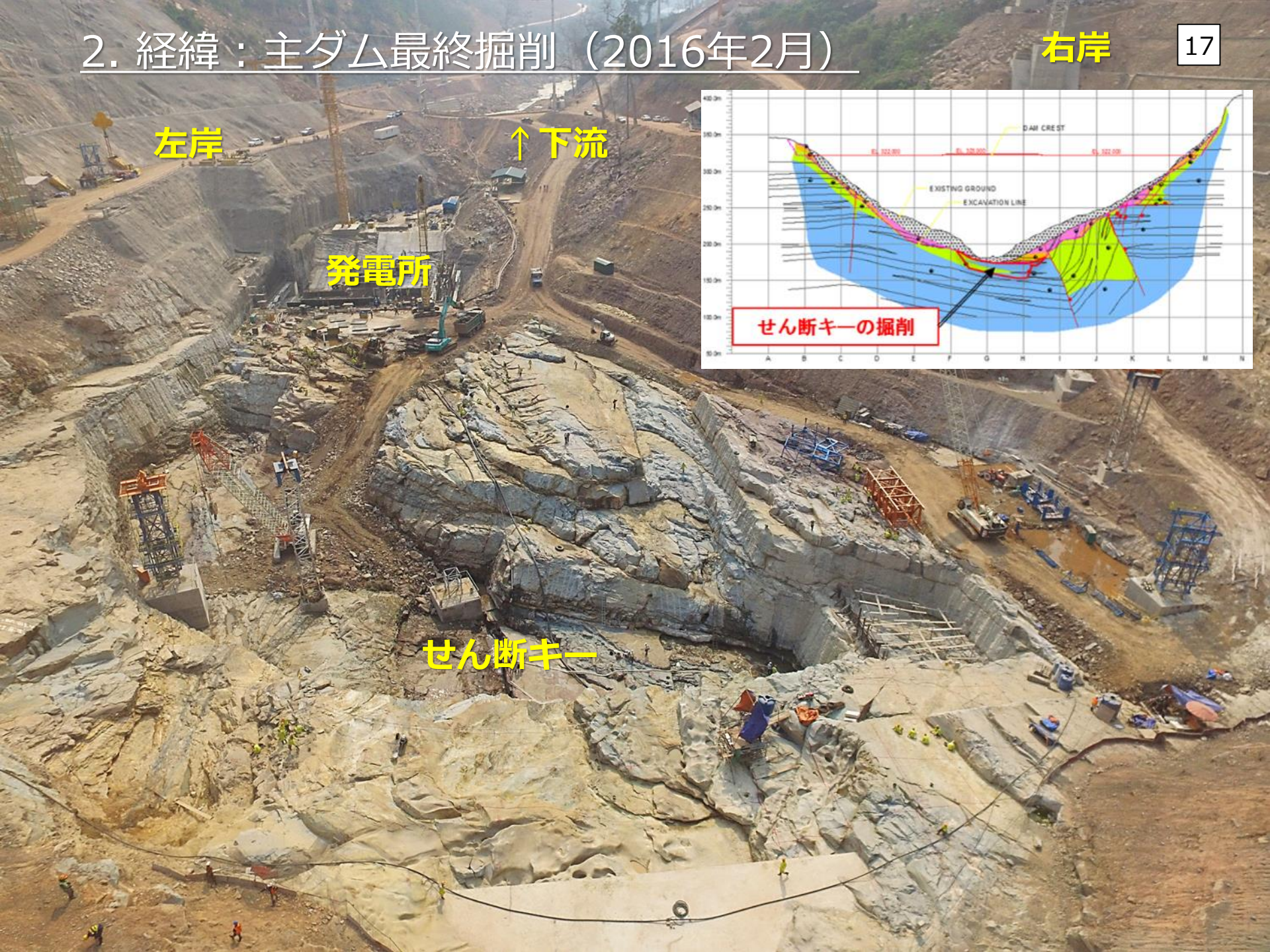
転流開始



セレモニー

2. 経緯：主ダム最終掘削（2016年2月）

右岸

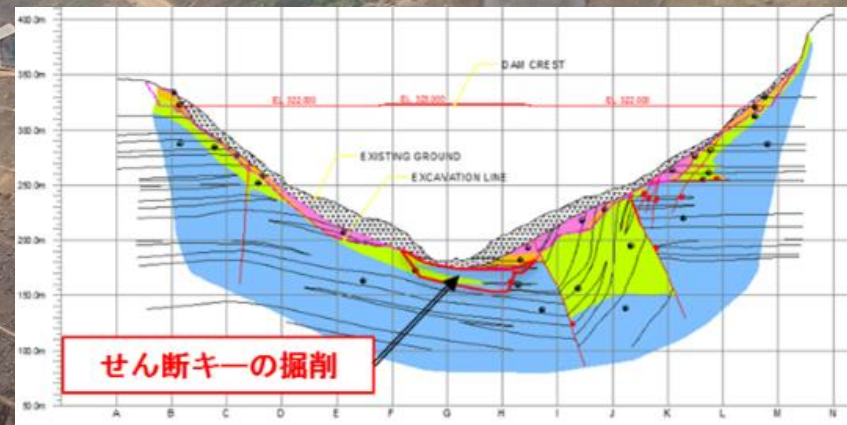


左岸

↑下流

発電所

せん断キ一



2. 経緯：主ダム完成（2018年4月）

18

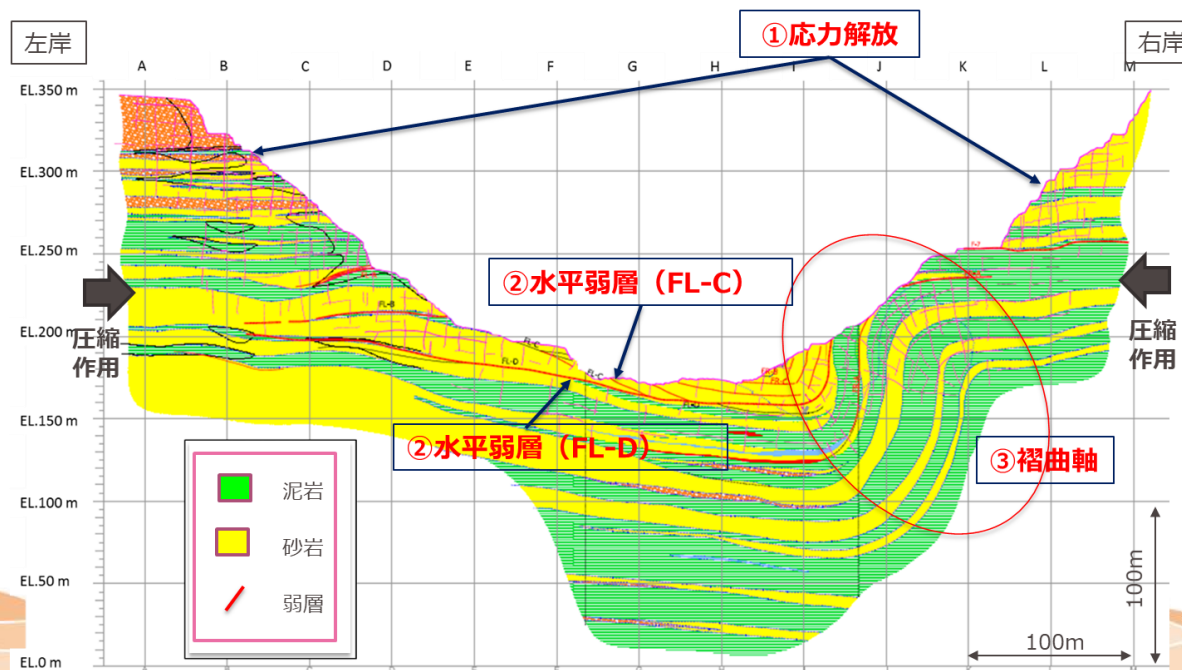


2018年4月27日

2018年4月29日 RCC打設完了
2018年5月15日 湛水開始

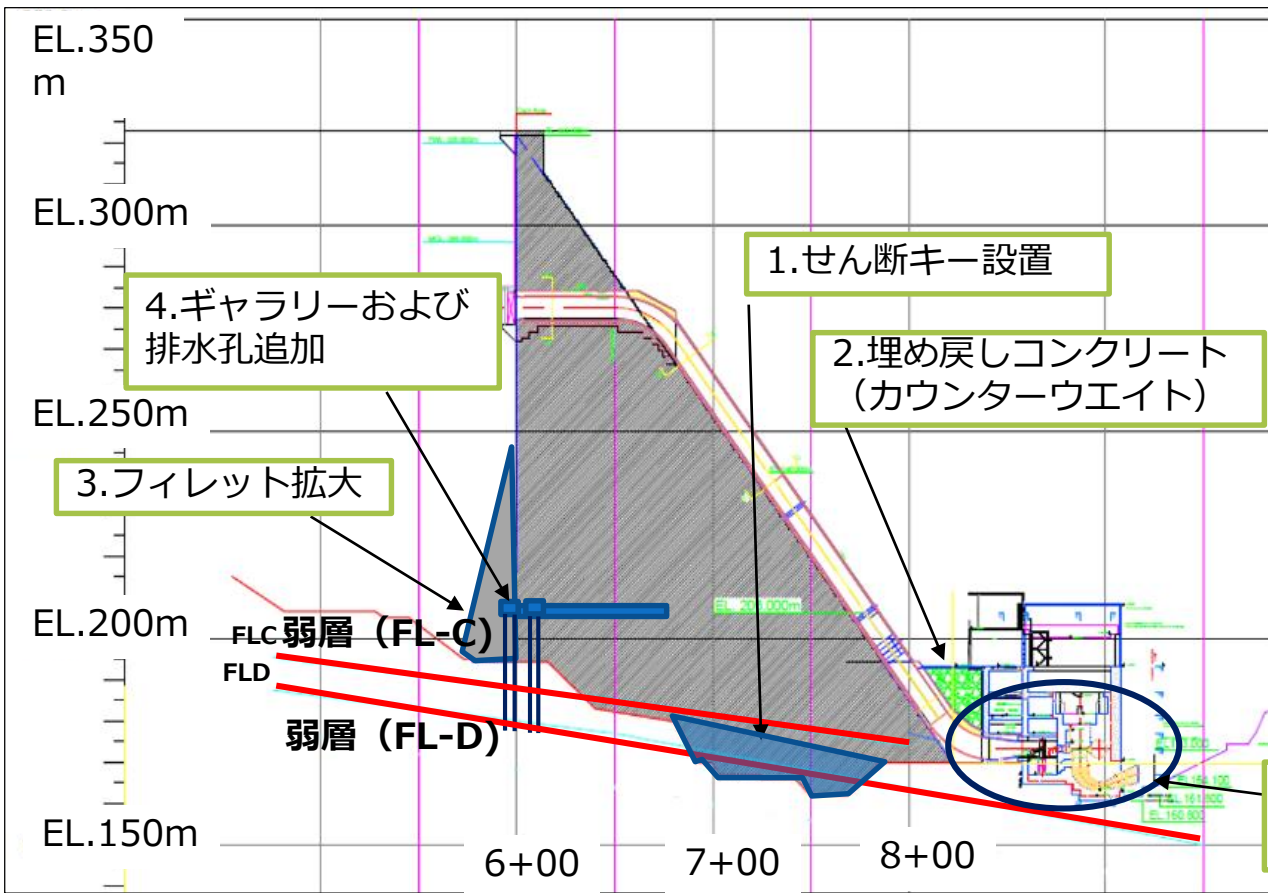
3. 課題1：ダム基礎に水平弱層の出現

- やや下流下がりの砂岩と泥岩（堆積岩）の互層
- ダム軸方向の圧縮作用を受け、砂岩と泥岩の境界で層面滑りが発生し破碎され、地下水面の上下などの風化が進展して水平弱層が形成された。



3. 課題 1 への対策：ダム安定化

- ダム下流岩盤を発電所建設のため掘削
 - せん断抵抗力が大きく低下
 - 滑動の必要安全率が不足
 - 地形的な制約により、安全率が不足
- 1.せん断キーを設置
- 2~4.追加対策を実施

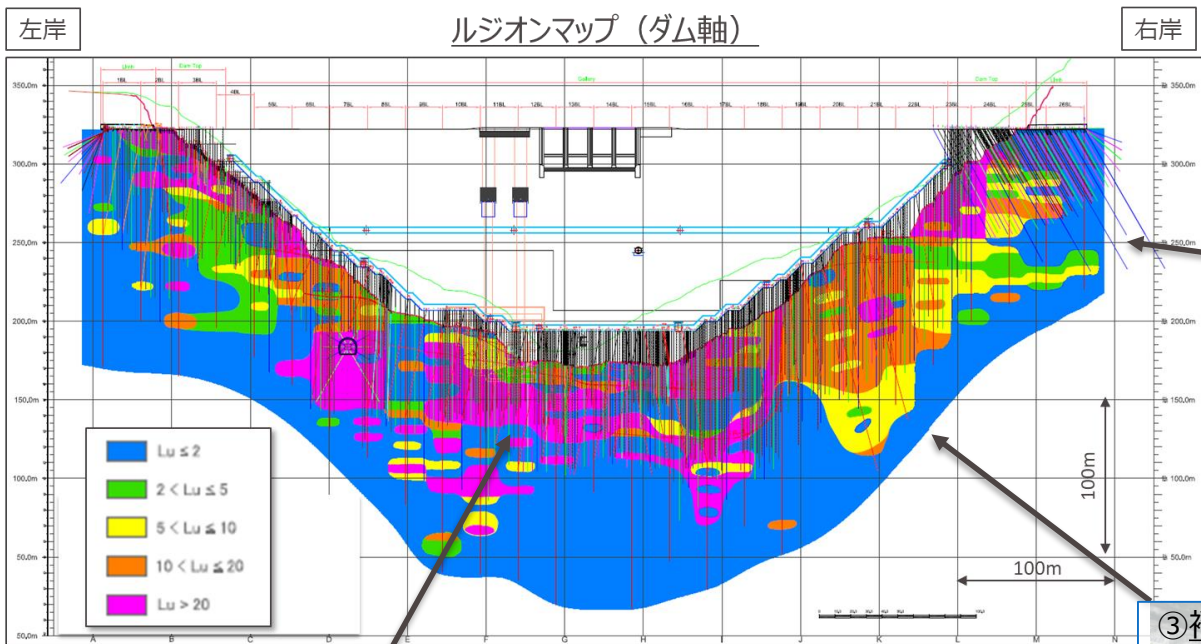


せん断キー等の対策によって必要安全率を確保

半地下式の発電所を建設するため、ダム下流の岩盤を掘削

3. 課題 2 : ダム周辺に高透水性ゾーンの存在

- ①高標高部、②河床部水平弱層周辺、③褶曲軸部で高透水性ゾーンが存在
- 工程遅延に伴う湛水開始の遅れを回避する必要性



①応力解放
高標高部のトップリング：縦亀裂が卓越、水平亀裂と繋がり大量注入



③褶曲軸
褶曲作用：多数の亀裂により追加孔が増える



②断層・破碎帯
河床部に水平弱層：堅岩と弱層との境界で大量注入

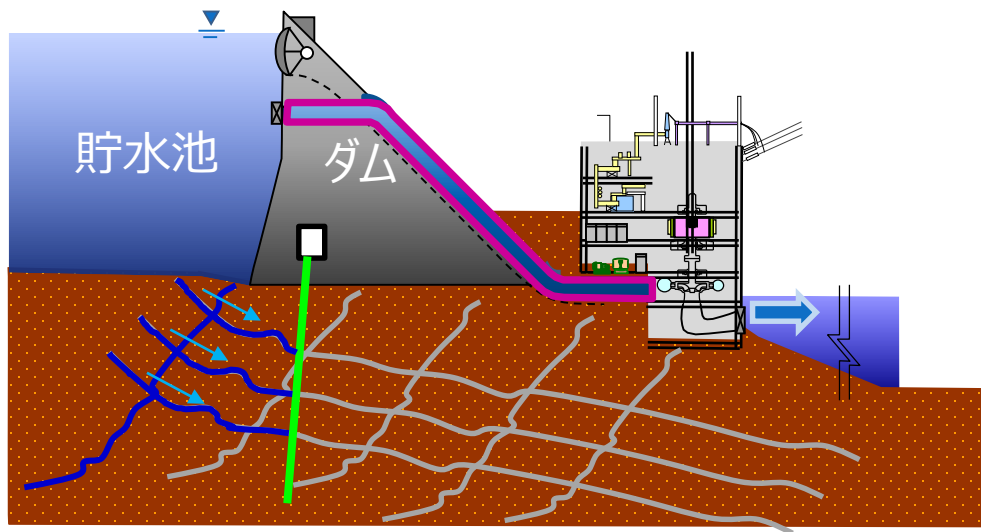


3. 課題 2 への対策：カーテングラウトでHybrid工法の開発

- 海外で広く用いられる即効性のGIN工法と、日本のきめ細やかな従来法との融合を図る。
高濃度 (W/C=1.5) ・単一濃度で注入。ただし、注入開始80L/mで注入圧が上昇しない (亀裂が大きい) 場合は、さらに高濃度 (W/C=0.8/0.6) に変更する。
- 施工速度は約3倍、注入効率は約7倍を達成

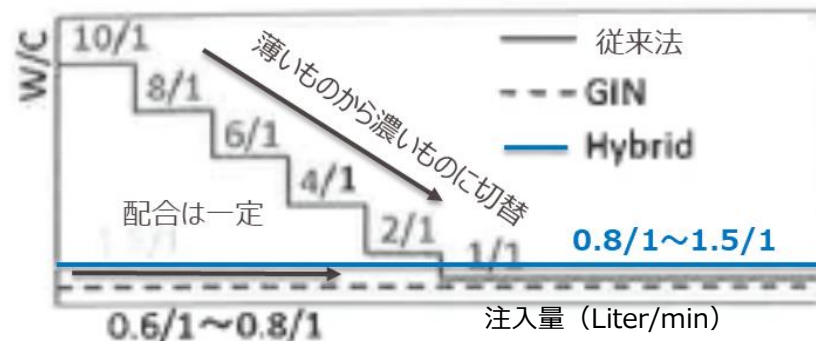
カーテングラウトとは

ボーリング孔からグラウト材 (セメント+水) を注入、ダム直下にグラウトのカーテンを形成し、漏水を低減



カーテングラウトにより
漏水の通り道を遮断し
揚圧力を低減

従来法とHybrid工法の配合比較



工法	従来法 (計画)	Hybrid工法 (実績)
注入時間 (時間/ステージ)	2.8	0.8
注入効率 (単位セメント量/注入時間=kg/m/時間)	83	562 約7倍
コスト比*	1	0.75

4. 挑戦1：RCCダム的高速施工

RCC : Roller Compacted Concrete

- 舗装やフィルダム施工の利点を取り入れ、経費の削減と急速施工に重点を置く。
- 普通コンクリートに比べてセメント量が少なく（貧配合）、超硬練り。
- ダンプトラックまたはベルトコンベアで運搬し、ブルドーザで敷き均しローラーで締め固める。
- 連続打設で打継目の処理をしない。

①運搬



②運搬



③敷き均し



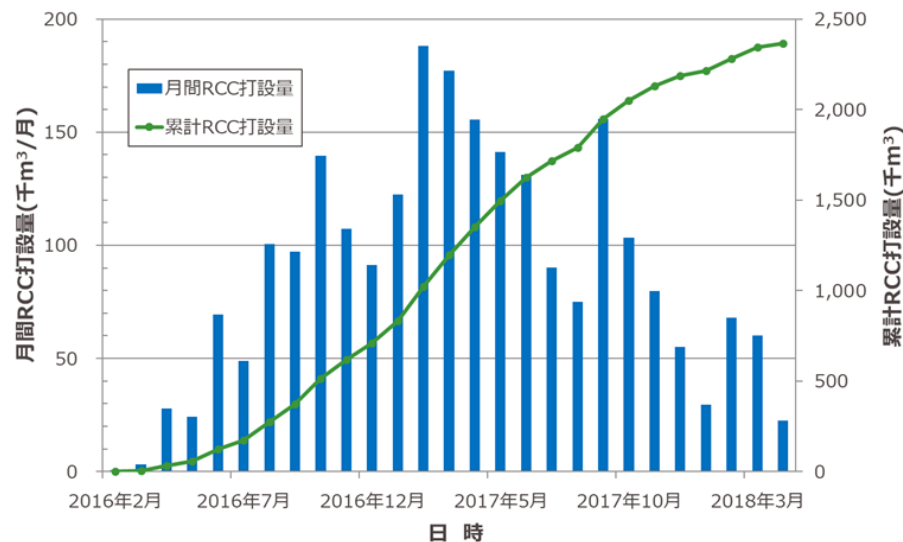
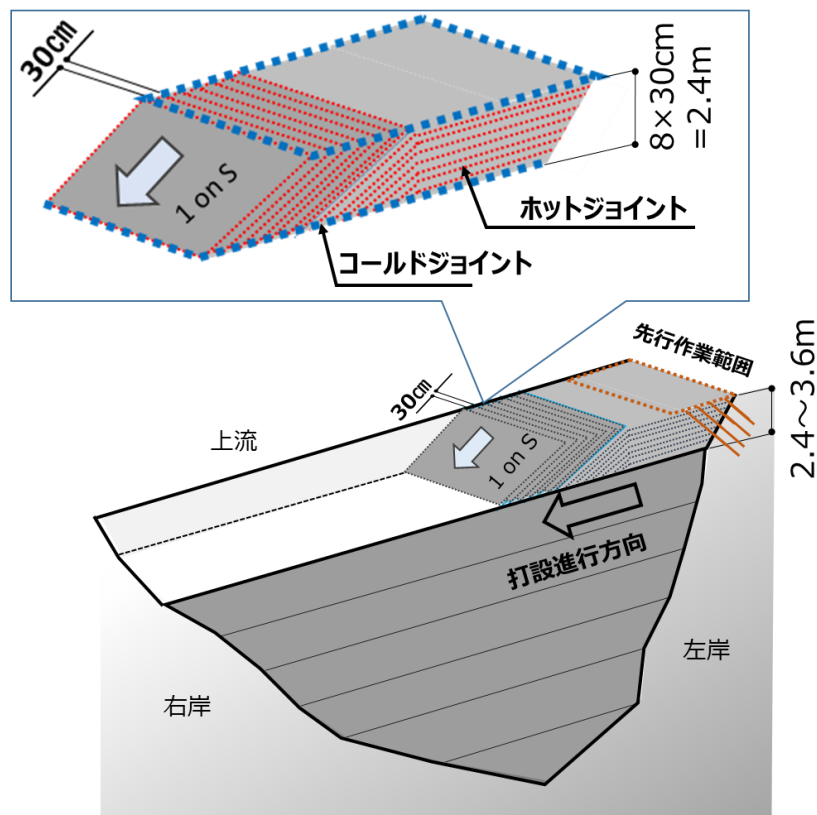
④締め固め



4. 挑戦1：RCC高速施工のカギ：スロープレイヤー工法

【スロープレイヤー工法】

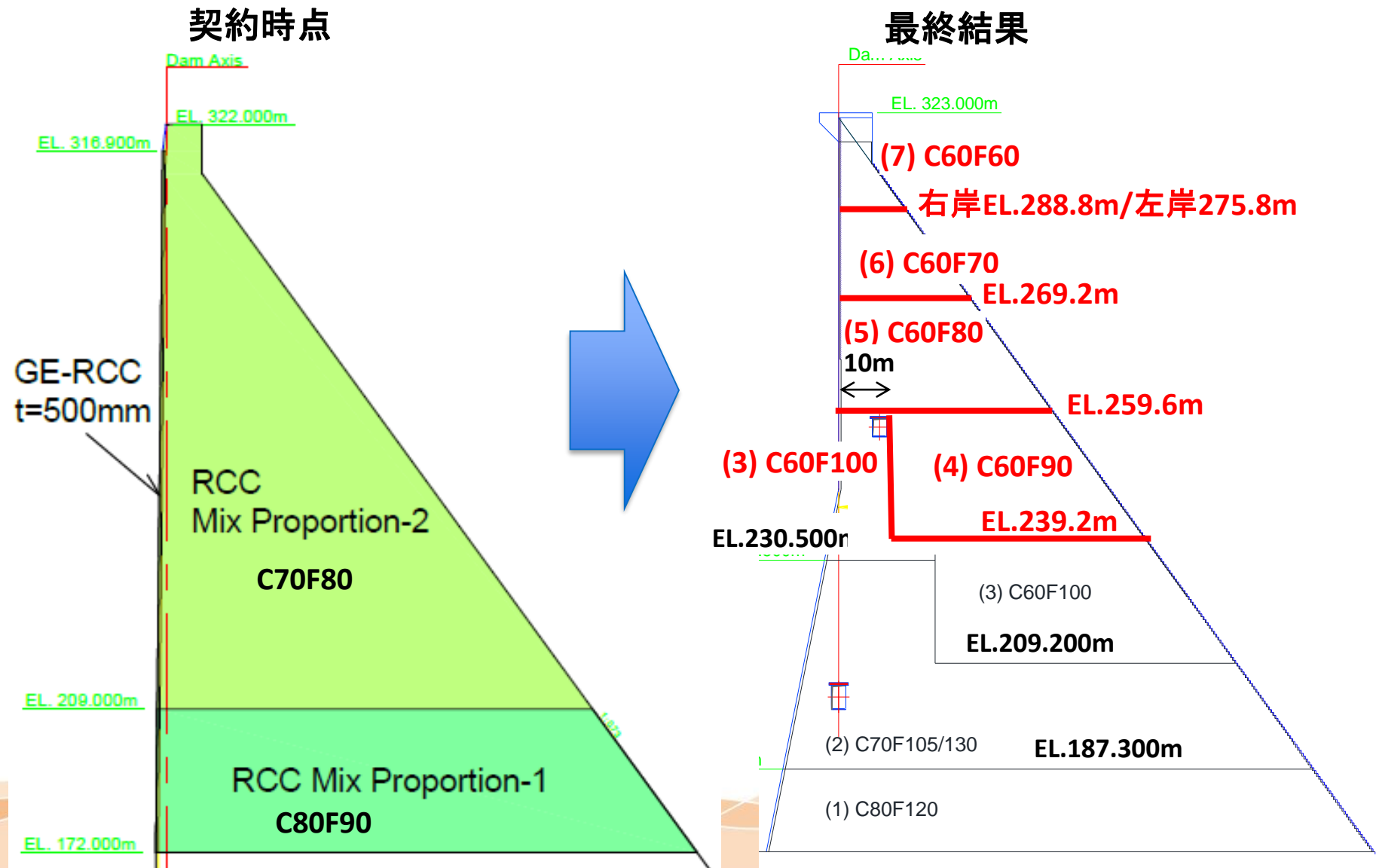
全面レイヤー工法に比べて、コンクリートの打ち重ねる面積が小さく、遅延剤を多く必要としない。コールドジョイントの発生する面積が小さい。降雨時の表面水の処理や雨からの保護が容易。
→ 7か月の工程短縮、遅延剤コストの削減、ウオームジョイント（打継目の弱点）の排除



- スロープレイヤー工法の採用により
- 月間平均打設量：世界第9位
 - 打設効率（月間平均打設量/打設能力）：世界最高クラスを達成

4. 挑戦2：RCC配合のゾーン区分

- 試験練りの結果を踏まえて配合区分を変更し、貧配合化に努めた。
- 結果、必要なダム強度、不透水性、施工性を保ちつつ、大幅なコスト削減に寄与



- 水平弱層の出現に対してダム安定化のためにせん断キ一等の対策を実施
- カーテングラウトでGIN工法・従来法の利点を取り入れたHybrid工法の開発
- スロープレイヤー工法によりRCC打設の高速施工を達成
- 貧配合と配合多様化の実施
- 社外専門家の技術的提言を積極的に導入

品質・コスト・工期を満足するダムを完工



融資団技術アドバイザー (LTA)



LTAとダム安全評価パネル(DSRP)

3. 国際共用送変電設備

(投影で説明します)

4. 少数民族移転

◆ モン族の歴史

- 中国の国内に多く居住する民族集団で、同系統の言語を話す人々が、タイ、ミャンマー、ラオス、ベトナムなどの山岳地帯に居住する。人口：46万人（ラオス全人口の7%）
- ベトナム戦争時に同民族が二つの体制の体制に分かれて戦った。戦後多くが米国へ亡命。（モン族の悲劇）

◆ モン族の生活

- 深い山間部での自給自足。焼畑農業、狩猟および森林生産物の採取。
- 高い貧困率（年収：500～1,000ドル）、低い就学率、低い女性の地位、慢性疾患

◆ モン族の文化

- 社会：クラン（姓名）の長を中心とする父兄社会
- 家族：一夫多妻制、婚姻は近年両家族間での同意婚が主体
- 宗教：自然崇拜（アメニズム）、シャーマンによる儀礼の実施

伝統的文化の継承：



装飾衣装



伝統的ダンス



ハーモニカ



薬草の利用



独自の民族性を保持しながら、他民族との衝突を避けるため山岳に住む

移転は525世帯

上流域 3村(2UR地区)のうち
一部(8世帯)移転要

村名	世帯数	民族
Pou	84	Mixed
Hatsamkhone	75	Mixed
Piengta	48	Mixed
Other villages	29	-
Total	236	-

下流域 4村(2LR地区)
全世帯移転要

村名	世帯数	民族
Houaypamom	44	Hmong
Sopphuane	77	Hmong
Namyouak	186	Hmong
Sopyouak	172	Mixed
Total	479	-

貯水池

逆調整ダム貯水池 1村(Z3地区)
全世帯移転要

村名	世帯数	民族
Hatsaykham	38	Hmong

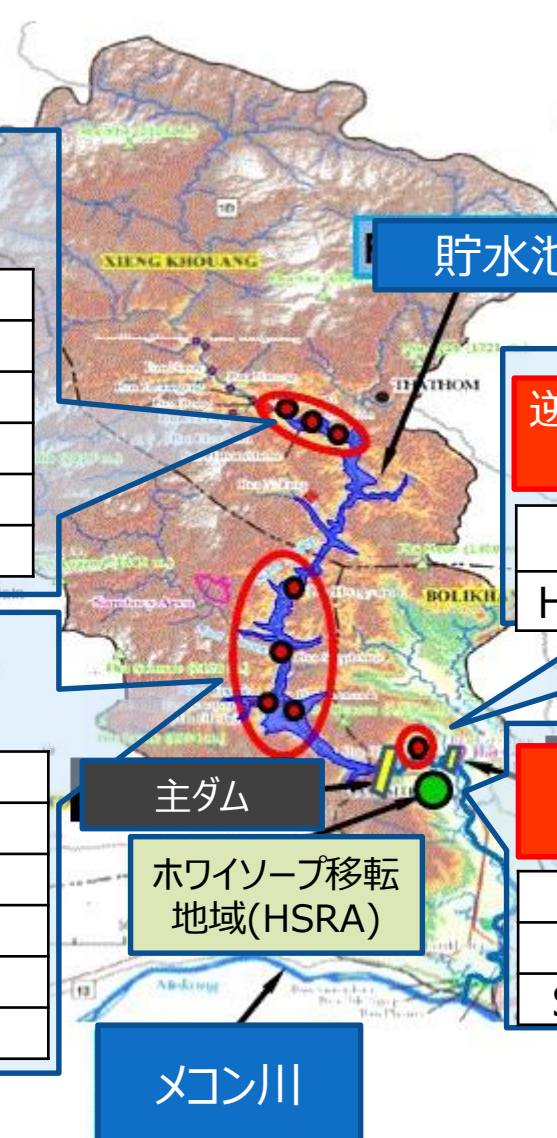
HSRA地区(Z5地区)の
土地所有者(96世帯)

村名	世帯数	民族
Hat Gniun	67	Mixed
Somsouen	27	Lao

主ダム

ホワイトソープ移転
地域(HSRA)

メコン川





湛水前の家屋

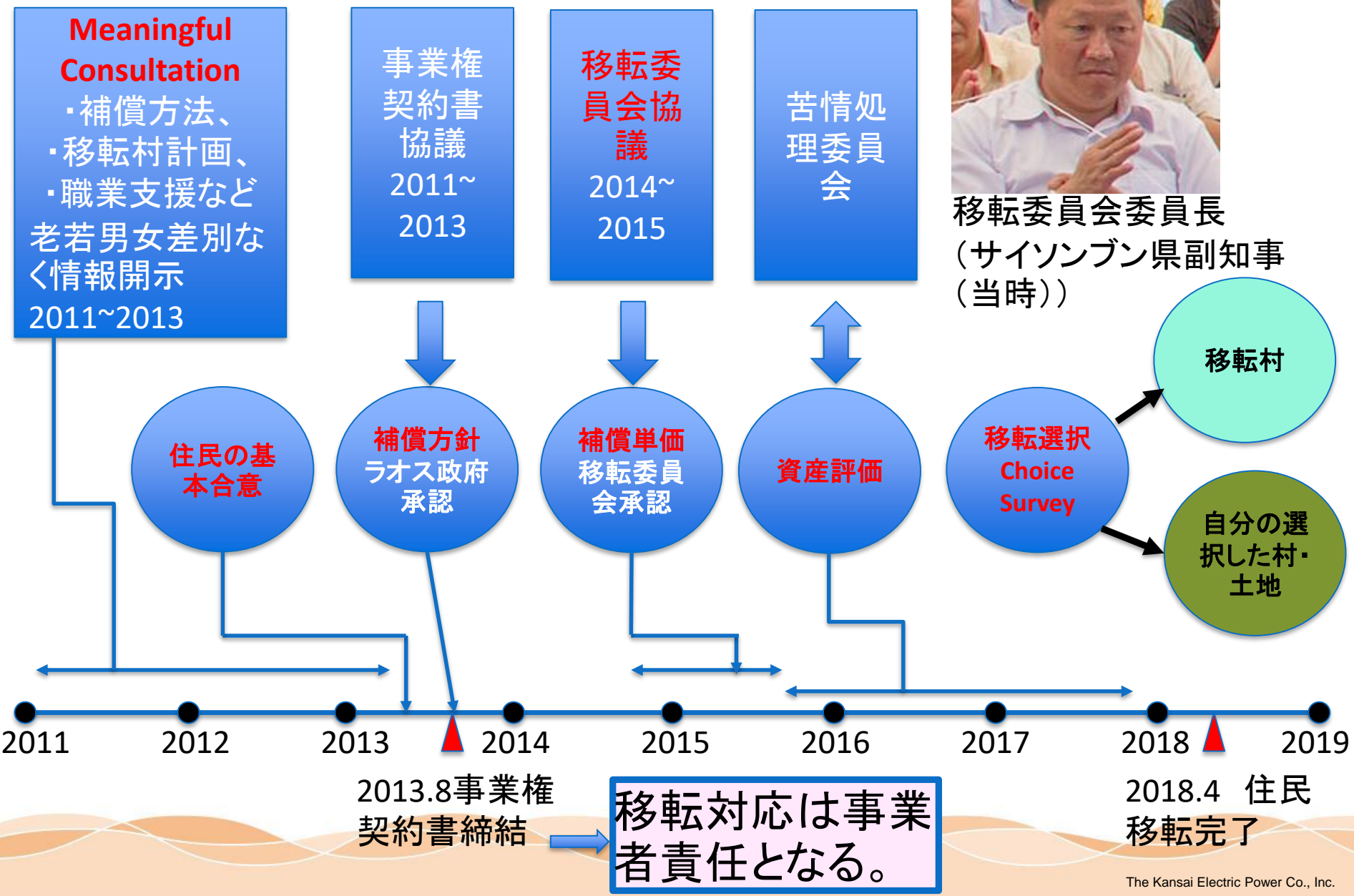


湛水前の小学校





住民の移転対応の流れ



移転委員会委員長
(サイソンブン県副知事
(当時))

○移転村もしくは自主移転を選んで頂く公式な選択(選択肢を与えることが世界標準)

補償支払いルール

	自主移転	移転村	
	金銭補償 (現地通貨)	金銭補償 (現地通貨)	資産供与
土地		実際のマイナス額平均 \$13,000	農地
構築物		実際のマイナス額平均 \$11,000	住宅 宅地
樹木 (ゴム、バナナ等)			-

- 移転村を選択した場合、金銭補償額は、資産価値から移転村資産額を差し引いた額となる。マイナスは無償。
- 従い資産総額が移転村資産額より低い家族は、移転村に移転した方が資産が増える。
- 従い、「**貧困層は移転村へ、富裕層は、自分の希望する村へ**」移転する傾向が出来た。

○主ダム下流貯水池479世帯の自主移転の割合は現居住地が移転村から離れているせいか高くなった。

逆調整池ダム貯水池38世帯(移転村近傍)

主ダム下流貯水池479世帯(移転村へは車で4時間の距離)



近傍地のためか半数強が移転村へ



遠隔地のためか自主移転を好む傾向となった

※主ダム上流貯水池8世帯は同じ村内等へ移転

移転村の設計・建設は、ラオス政府とADB専門家に絶賛されているが、14%の住民にしか選ばれない理由は検証が必要。1軒敷地面積は1,200㎡





(移転前)

山間から平坦な町へ
少しずつ標高や家の向きを変え、
特に玄関の位置は、**住民による
風水を考慮し**、配置している



(移転後)



診療所



村民ホール



中学校



幼稚園



移転村教育施設の設置および個人向け奨学金制度（2017年当時）

	校舎および運動場	教室	生徒	教師
中学校		7	63	12
小学校		5	92	5
幼稚園		3	74	4
計		15	229	21

- 移転村に設備の整った学校を建設（幼稚園～中学校）
- 個人向け奨学金制度の導入
 - ✓ 2014年に開始
 - ✓ 対象は大学等の高等教育機関に通う者
 - ✓ 毎年30人に奨学金を支給
- 教員のトレーニングおよび教育材料の提供

就学率に関するデータ（主ダム貯水池下流域）

村名	なし	小学	高校	大学
ホワイパモン	26%	58%	15%	1%
ソプアン	35%	41%	22%	1%
ソプヨーク	9%	48%	39%	3%
ナムヨーク	28%	45%	23%	3%
平均	24%	46%	23%	3%

出典：Draft Report Social Impact Assessment 2008

就学率向上に資する取組みにより、将来世代の雇用機会の増加、ひいては将来収入の向上を図る。また村の衛生（トイレ使用）と上水の提供により移転住民の健康増進（労働力確保）を図っている。

移転村での農産物育成



水田86haの
使用状況

米の生育状況



ハト麦の生育状況



米の収穫も安定し、住民の生活も安定化して来ている。また、水田エリアで、ハト麦や黒ゴマの栽培も試されており、高額で日系商社などが直接買取をする。ナムニアップ1パワー社はこのような市場との仲立ちをしている。

果樹園の開発と農作物の育成



Growing Pineapple



Banana Trees with Upland Rice



Harvesting of Upland Rice



輸出用作物の育成

Black Sesame (to Japan)



Ginger (to USA and New Zealand)



Job's Tears (to Japan)



牧場の開発と牧草の育成



Planting Forage Seeds



Growing Forage

5. 生物多様性保全

ADB Safeguard Policy Statement

Appendix 1 Safeguard Requirements 1: Environment (セーフガード要求事項1:自然環境)

【生物多様性の保護と持続可能な天然資源管理】

第24条

ADBの融資を受ける事業者は、生物多様性に関して起こり得る悪影響に関して、

- (1) 避ける (Avoid)
- (2) 最小化する (Minimize)
- (3) 緩和する (Mitigate)

上記の手段を講じても残る影響に対しては、最終手段として

- (4) 補償・相殺 (Offset)

することで、影響を0としなければならない。(to achieve no net loss or a net gain of the affected biodiversity)

第28条 クリティカルハビタット (Critical Habitat) 領域では、いかなるADB融資事業も実施できない。

工事・湛水（大規模な動植物への影響）

対策

① 流域管理
(流域の環境保全)

② 生物多様性管理
(失われた生物多様性の補償、回復)



ナムニアップ川流域

ナムニアップ1
オフセットサイト

ナムニアップ1は建設工事・ダム湛水に伴う大規模な動植物への影響を緩和・回復・補償するため、
①ダム流域において保全計画を立てるとともに、
②ダム流域およびベトナム国境のオフセットサイトにて完全保護区(Total Protected Zone、略称TPZ)を制定し、域内でのハンティングを防ぐパトロールを行う。

- 主ダム貯水池の流域において、1) 希少種の生息地あるいは生息地の回復が見込まれ、かつ
2) 焼き畑などの農業や放牧用として使われていない2つのエリアを完全保護区 (Total Protected Zone、略称TPZ) に指定し、特に希少性の高い下記4種類の生物の保護を目指している。
- 密漁等を防ぐためのパトロールは、地方自治体の職員が主体となって実施。



Sunda Pangolin (センザンコウの一種)



White-Cheeked Gibbon (ホオジロテナガザル)



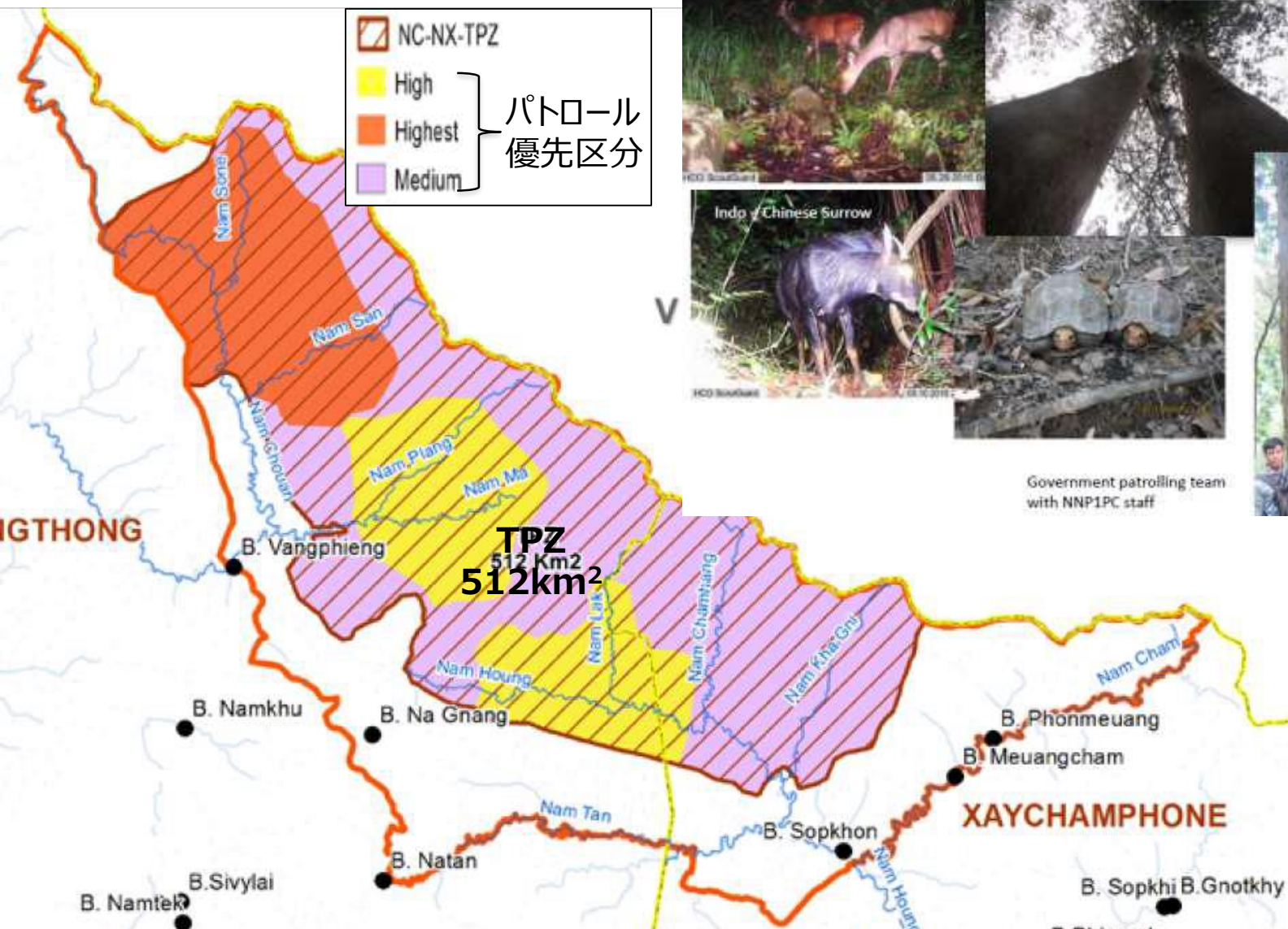
Indochinese Box Turtle (モエギハコガメ)



Owston's Civet (ジャコウネコ科)



オフセットサイトにおいても完全保護区（TPZ）が設けられ、密漁等を防ぐためのパトロールは、地方自治体（ボリカムサイ県のみ）の職員が主体となって実施。

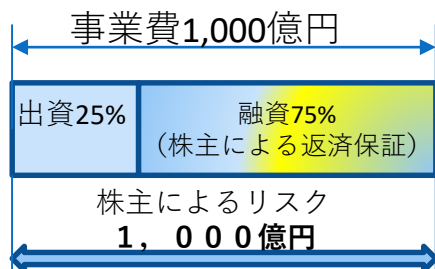


Government patrolling team with NNP1PC staff

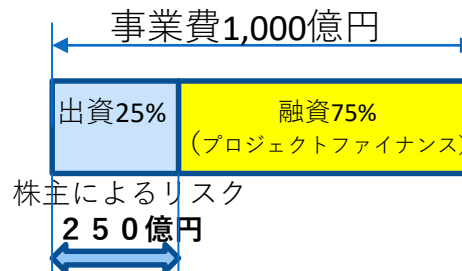
6. プロジェクトファイナンスの 有限責任が事業開発に果たす役割

- ① プロジェクトの参画の条件として、資本金の多寡のハードルが緩和される。⇒資本の多寡よりも、組織の事業推進能力が重要
(資本金の多寡 < 知恵とやる気)。

(例) 融資返済保証の場合



プロジェクトファイナンスの場合



- ②事業開発を担う人材の心の保険

(失敗に対する恐怖 < 成功へのやる気)

③事業に係る国、出資者、融資者が**有限責任**の下、お互い事業の信頼確保に強い関心を持つ。その結果、

◆ メリット

- a. 事業性に関する**厳しい審査**
- b. 課題解決に対するより大きな「**集合知***」の形成
- c. リスク低減に伴う**コスト低下**

(* 集合知は、ある共通の目標や問題を解決するために、知を蓄積し、活用すること。集合的な創造性による問題解決の手法。)

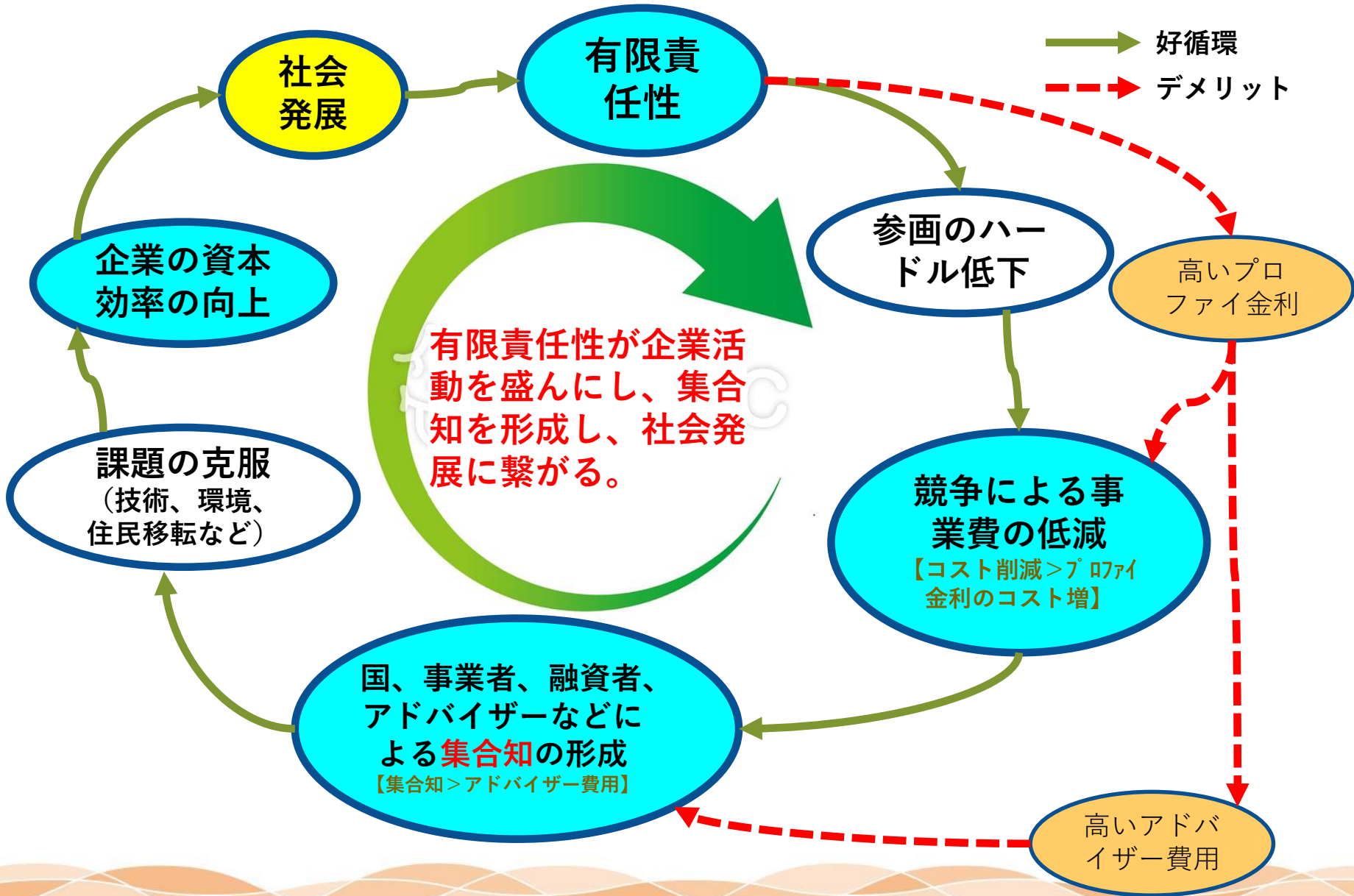
◆ デメリット

- a. 多くのアドバイザーに対する**高額費用**
- b. 高い**プロファイ金利** (コーポレート金利 + 1%以上)

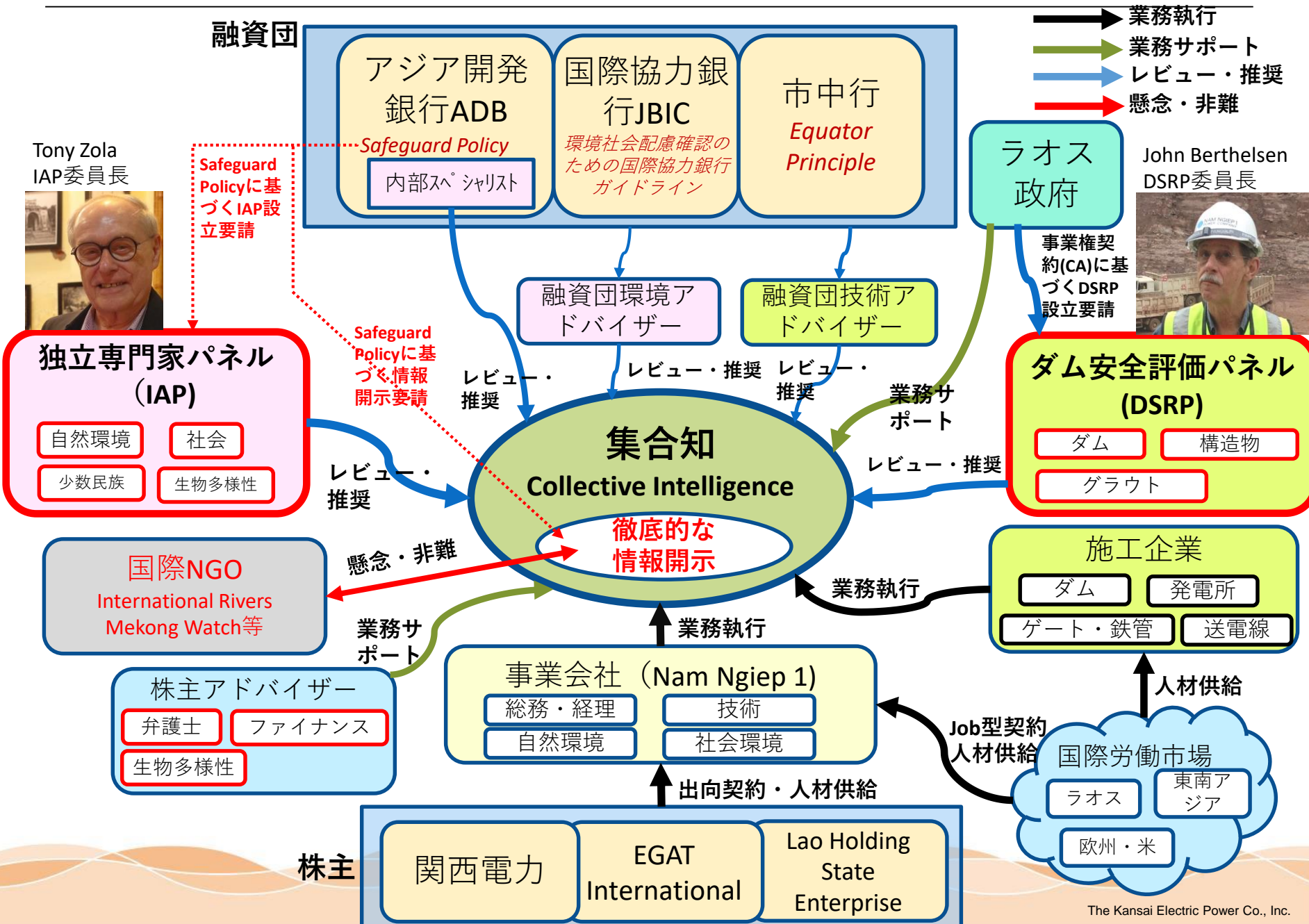
結果的に、

- A. 事業者のリスクの限定により、多くの企業が競争に参入し、**プロジェクトコストが低減**
- B. **「集合知」が生み出す困難の克服**
- C. **資本効率の向上**

有限責任が及ぼす効果(3)



有限責任による集合知の形成（ナムニアップ1の例）

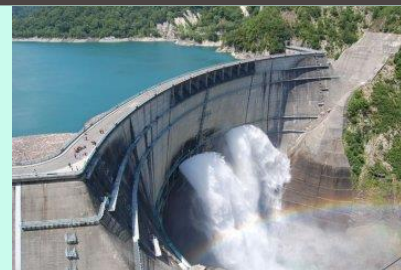


結びに：プロジェクト竣工のキー・ポイント

なぜ、ナムニアップ1プロジェクトは竣工できたのか・・・

【関電が海外IPPの主要株主となるまでのバックグラウンド】

- 技術：
 - ・1963年黒部ダム、その後の揚水発電所建設などで培われた水力技術力の海外展開（ミャンマーなど）
 - ・世界のダム技術を積極的に採用
- 商務：1999年、フィリピン国サンロケ発電所参画以降の海外進出で得た商務スキル



黒部ダム
(くろよん)

サンロケダム
@フィリピン



【ナムニアップ1事業会社での運営】

- **集合知の形成**：社外専門家（DSRP、IAP）、融資団技術・環境アドバイザー、事業会社、建設施工企業、事業会社アドバイザー（弁護士、フィナンサーなど）の知識が有機的に活用できた。
- 集合知の**徹底的な情報開示**：前広な情報開示により国際NGOからの非難もやがて終息。



融資団の技術専門家



独立専門化パネル

- 株主サポート：度重なるピンチ（東日本大震災、ダム地質）にも関電**経営層の全面的な支援**
- SPC社員：学び、成長し、決して諦めない**多国籍社員たちの一体感**（同じ釜の飯を食う）

- ①日本人のプロフェッショナル気質と緻密な連携により、**プロジェクト作りを主導すること**、
と同時に、
- ②外部評価を取り入れた**集合知の積極的形成**、
- ③世界共通言語による**情報開示**を積極的に行い、ガバナンスの**透明性を高めること**、
が肝要と思料致します。

（日本人だけの組織が海外で働く場合は、発想・活動が均一化、ムラ社会化し、情報開示少なく、他国からの理解を得られにくい局面を引き起こす可能性があります。）

本件を通じ、あらゆる局面に於いて、

Diversity Managementが重要としました。

Gender（性）、Nationality（国民性）、Way of thinking（考え方）、
Bio（生物多様性）・・・