

鉱山施設を利用した地下揚水発電とその経済性評価

DESIGN AND ECONOMICAL EVALUATION OF UNDERGROUND PUMPED-STORAGE
POWER GENERATION USING MINING FACILITIES

九州大学 江崎 哲郎 Tetsuro ESAKI*)
日本国土開発(株) 大久保 洋介 Yousuke OHKUBO**)
長崎大学 棚橋 由彦 Yoshihiko TANABASHI***)
九州大学 甲斐 貴司 Takashi KAI****)

SUMMARY

When an underground structure finished its original service life, It is necessary to conduct its continual maintenance and control to decrease the impact on neighborhood from the environmental system viewpoints. The authors have discussed the feasibility on underground space renewal as a measure of maintenances and controls of underground spaces. As an example, a plan of the underground pumped-storage power generation system (UPSPG) which cohabits with an active coal mine was proposed. However, It is very important to predict the accurate economical ripple effect to the region accompanied by promoting such a project.

This paper discusses not only the detailed design of the UPSPG project, but the comparison of the economical ripple effect in accordance with construction, management of the UPSPG and activity of the coal mine by the industrial linkage analytical method.

Keywords: underground renewal (地下再利用), pumped-storage power generation (揚水発電)
cost benefit (コストベネフィット), economical ripple effects (経済波及効果)

1. 緒言

長期的視点から地下空間利用を考えると、将来それがもし不要となり廃棄される場合には、地表構造物と比べて、多くの問題点が残される。廃棄による周辺へのインパクトを柔らげ、環境への阻害を未然に防止する上で、事後の対応を行う消極的方法のほかに、継続的な地下利用の推進や再利用が有効な手段の一つであると考えられる。さらに、地下の再利用を考えた場合、地下構造物にとって、その修復、復元が非常に困難であるといった物理的制約条件を踏まえると、早い段階で再利用への体制を整え、利用形態を転換していくことが望ましい。筆者らは、既存の産業が縮小していく中で新たな施設を構築し、徐々に機能の転換を図る地下利用の形態の一つの例として、操業中の石炭鉱山と共生する地下揚水発電システムの基本的検討を

行った。しかし、一方では、その実現に対して多くの問題点があることも明らかになった。

本研究では更に具体的サイトにおける設計を行い、技術的に検討を加えると共に経済性評価を行う。すなわち、地下空洞そのものを再利用することは、地下利用の目的が異なる場合には、技術上のみならず、法律上や管理運営上も多くの問題点があり、効果的な利用には限界がある。しかし、地下の開発には設備、人的資源、開発経験など豊富なストックがあり、これらを有効に活用することを考えてみる。また工事費用のみならず、発電システムの立地及び鉱業活動継続からみた地下開発利用の経済効果について検討する。

2. 揚水発電の現状と将来

揚水発電は、深夜などの電力需要の軽負担時に

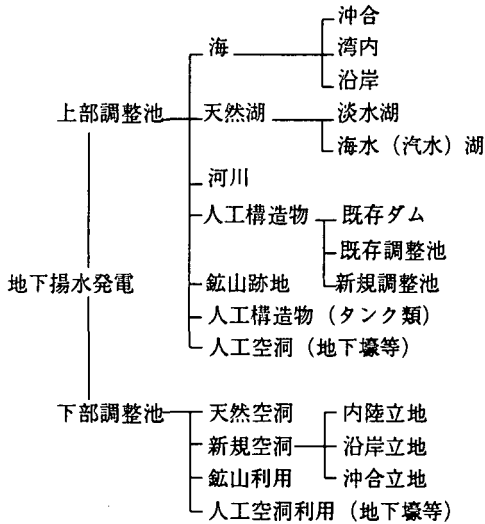
*) Professor, Institute of Environmental Systems, Kyusyu University, Fukuoka 812-12, Japan

**) Engineer, JDC Co., Tokyo 107, Japan

***) Associate Professor, Civil Engineering, Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan

****) Graduate student, Institute of Environmental Systems, Kyusyu University, Fukuoka 812-12, Japan

表一 1 地下揚水発電の形式の種類
(Table.1 Classification of UPSPG)



火力や原子力発電所の電力の余力を利用し、下部調整池の貯留水を上部調整池に揚水しておき、昼間の電力需要のピーク負担時に放流して発電する形式の発電である。揚水時および発電時の損失を合計すると30%程度のエネルギー損失が発生するが、ピーク時電源の平準化に対して最も有効な瞬時の負荷追従能力、大規模な電気エネルギーの貯蔵などに優れ、かつ経済性もある。現在、国内で38地点、総出力約1,700万kwが運転中であり、電源構成の約10%を占めている。今後、大容量、効率の良い新しい電力貯蔵技術が実用化されるまでは、電源需要の伸びに応じた新しい地点の建設が続けられる。

しかしながら、今後の揚水発電の開発に当たっては、次のような問題点も指摘される。

- (1) 大容量の揚水発電が、スケールメリットを持ち今後期待されるが、落差、調整池容量、それらの位置関係のよい自然条件を持ち、かつ経済的に建設できる適地サイトが少なくなった。
- (2) このような場所は、一般に需要地、他の発電所から遠く、送電設備の費用、及び送電時のエネルギーロスが大きい。
- (3) 自然環境の保全の規制が厳しく、立地地域への社会環境に対する対策費用も年々急増している。また、計画から完成まで長年月を要する。

(4) 以上の結果、建設費が年々高くなる傾向にある。

3. 地下揚水発電の現状と技術的課題²⁾

地下揚水発電は、発電原理、目的は全く同じであるが、上池を平地レベルに設置し、下池を地下深部に掘削された大規模空洞を利用するもので、1960年代から各国において研究され、現在2ヶ所が建設中である^{3),4)}。このような発電方式が考えられたのは、前に述べた従来型の揚水発電の各種問題点を解消することが大きな理由であるが、その他、厳しい冬の気候への対応、軍事防衛、平坦な地形しかない国での立地、洪水時の危険性の低減、立地選定の幅の拡大など各国の状況によりさまざまである。

地下揚水発電は、上部調整池、下部調整池の建設利用形態、下部調整池の配置構造、空洞形式により表一1のように分類される。上池に海洋を利用するケースは、海水揚水発電となる。地下揚水の場合、新規に上下池を建設することが研究の出発点であるが、経済性、合理性から既存空洞の有効利用に目が向けられることが多い。また、既存の揚水発電所下池を上池として、2段階とする方式なども考えられている⁵⁾。

下部調整池空洞は、石油備蓄の地下空洞に類似した大断面を列状に配置する方式と、伝統的な鉱山技術である柱房式が考えられているが、岩盤の状況、掘削費などから有利な方を選択すれば大差ない。また、このように新規に地下空洞を掘削する場合と、鉱山の廃坑を利用するケースが考えられる。これについては、著者らが比較検討している⁶⁾。

以上の状況を踏まえ、日本海洋開発産業協会(地下調整池式海水揚水発電調査委員会)⁶⁾では、地下揚水発電の概念設計、可能性の検討を行った。この結果、ピーク継続時間6時間、出力200万kw、有効落差800m程度の地下調整池式海水揚水発電が技術的、経済的に可能であるとしている。しかしながら、現実の立地を考えると、多くの問題点が残されているように思われる。まず、

- (1) 出力200万kwの大出力は、10~20年後の揚水の需要、既設あるいは建設中の揚水発電所の容量から推測すると需要に限られるので、今後も100

万kw程度の揚水が主流となるであろうが、その場合コスト高になる。

(2) 落差が大きいほど出力には効果的であるが、掘削などの工事が深部化、奥部化して、アプローチトンネル等の付帯設備、運搬などの費用が大きくなる。また、深部空洞では山はねなど安定問題によるコスト増が考えられる。

(3) 上部池を海面とすると、取放水口の流速を抑えるには、呑口部や周辺に膨大な調整区域が必要になる。この立地が本来沿岸域湾内などを想定していることから、流量の大きさ、流れが双方向などのことを含めて、海面に及ぼす影響を検討しなければならない。また、海水使用による腐食対策のコストの上昇も大きい。

(4) 経済性の判断は主として建設コストによって。従って、環境問題、電力の需要供給の問題なども含めて、総合的に検討する必要がある。

一方、筆者らは生産規模を縮小している石炭鉱山と共生する地下揚水発電所の可能性を検討してきた。その結果、鉱山の廃棄空間や施設を有効に利用した新たな空間再利用の可能性があると提示した⁴⁾。しかしながら、この方法も多くの問題点を残している。すなわち、

(1) 鉱山保安法の適用地域であるため、発電所を併設することは法律上の問題があり、これをクリアすることが不可欠である。

(2) 石炭採掘跡は、空洞の耐久性、漏水、湧水の問題、また空間が狭隘で、水平、鉛直方向に広く分布しているため、流速、水質など下部調整池として多くの問題点、不確実さが残っていることなどが挙げられる。

4. 鉱山施設を利用した地下揚水発電の可能性の検討

(1) 基本方針

鉱山の地下空間はそれ自体を利用することが目的ではなく、特定の作業員のみが入る特異な空間である。多くは短期間の使用を考えており、他の地下空間と大きく異なるので、再利用の対象は制限されることが多い。

過去の実績から鉱山跡地下空間の再利用例をみ

てみると、観光施設、貯蔵施設、研究施設等があるが、それらの立地地域への社会的な貢献度は小さく、鉱山が操業中に果たしていたほどのものではないようである。施設の多くは嬌小なものが多く、地域の衰退の防止が実現されているほどの成功例は少ない。これは、新たな利用を考えるにあたって、採算性等による制約条件が厳しいからである。

また、地下空間は特別の目的に最も適合するような設計、計画が行われており、その空間を別の目的として利用するには問題があることは当然である。従って、ここでは、鉱山の有する空間のみならず、多くの利用可能なポテンシャルを吟味し地下の再利用としての揚水発電システムを検討する。利用可能なポテンシャルには次のようなものがある。

a) 鉱業活動による広大な地下空間が存在するのみならず、その地表にも広大な用地がある場合が多く、これらの取得費用も比較的安い。

b) 長期間の開発による実績から、空間の長期的安定性を保持するための工法や管理方法が確立されている。

c) 鉱山開発のために調査、研究によって得られた周辺地盤および地下水に関する地質学的、岩盤工学的データが豊富にある。

d) 地下空間を開発するための人的資源およびインフラストラクチャーが既に用意されている。

e) 閉山による雇用、地域衰退の問題があるため、他の産業を胚胎させる必要があり、自治体および経営者にも、その方向に持っていく姿勢がある。

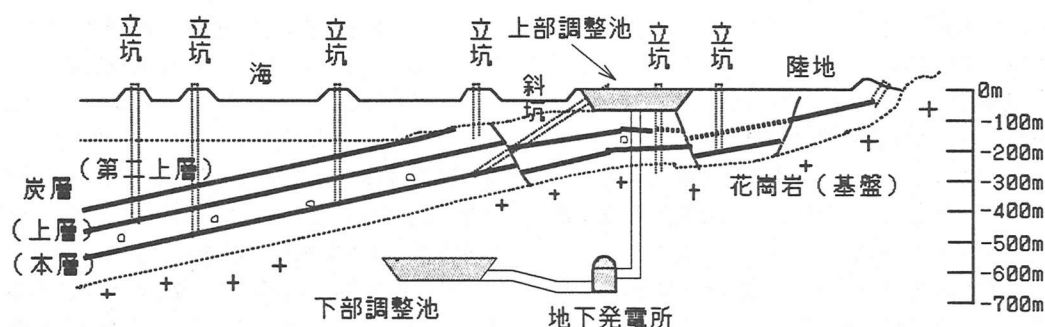
これらのポテンシャルを生かすことで、操業中の三池炭鉱を対象に再度フィジビリティスタディを行う。

(2) 三池炭坑の概要⁵⁾

a) 地質

三池炭坑を中心とした周辺の一般地質は花崗岩を基盤とし、その上位に品質、層厚において恵まれた採掘対象となる石炭層を含む古第三紀層が累重、更に不整合に第四紀層が被覆したものとなっている。

基盤は、変成岩類が一部見られるが大部分は花崗岩類である。分布している花崗岩類には、多量の



図一 1 地下揚水発電所を想定する三池炭鉱の模式断面図
(Fig.1 Schematic Section of the pumped-storage power plant in Miike Colliery)

角閃石を含み花崗閃緑岩質のもの、角閃石を含まず石英、長石、黒雲母を主成分とする黒雲母花崗岩など数種の花崗岩の分布がみられる。

この花崗岩の基盤内に、発電所本体および下部調節池を設置する計画であるが、この地盤条件は次の通りとされている。

硬質、難透水性岩盤で、弾性波速度5km/s以上、一軸圧縮強度1,000kgf/cm²以上、RQD ≥ 90%。

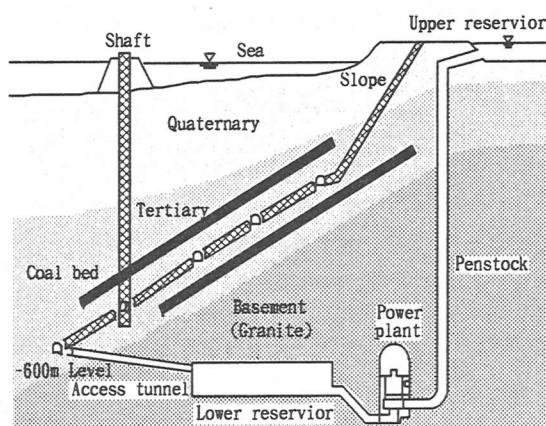
基盤岩類を不整合に覆う古第三紀層は、南西(海側)に5~6° 緩く傾斜して分布し、多くの厚い炭層を含む。その岩質は砂岩優勢で固結度が高く、次のような地盤条件である。

中硬質、難透水性岩盤で、弾性波速度2~4km/s、一軸圧縮強度150kgf/cm²以上、RQD ≥ 70%で。

炭坑の代表的断面を図一1に示す。発電所想定地点付近では地表下-300m以深が基盤岩となる。現在、立坑などの一部は基盤岩に達している。

b) 採掘状況

三池炭坑は、沿層坑道を中心に展開する一般の炭坑と異なり、古第三紀層大牟田層群の主要炭層である上層と本層の間に夾在する堅硬な砂岩層中に、標高-180m・-350m・-450m・-520m・-600mのレベルで基幹水平坑道を設け、浅部から深部へと斜坑を約1km間隔に配し、これらを骨格として展開している。これまでの掘削規模は、既採炭量で約3億tに及んでいる。採炭跡は、保安上埋め戻され入坑は不可能である。地下空間として残るものは、



図一 2 地下揚水式発電所の概念図
(Fig.2 Conceptual figure of UPSPG)

坑道(主要坑道、立坑及び斜坑など)である。主要坑道については、断面積が約10~17m²、入坑口からの距離が一番長いところで約15km、水平坑道と斜坑を合計した坑道の総延長は約250kmと概算されている。また、主要設備として、立坑5、斜坑1、通気設備(41,000m³/分)、揚水設備、運搬設備(1300t/分)、自家用火力発電所(5万kw)などが存在する。

以上のように、ここで対象とする三池炭坑は、海底に広大な採掘を行っている、我国で最大また世界的にも著名な海底炭坑である。

(3) 地下揚水発電システムの概要

地下揚水式発電所の概念図を図一2に示す。花

崗岩類からなる基盤層に、新規の発電所本体および下部調整池を構築することを考える。

a) 下部調整池は、発電所空洞より押し込み水頭だけ上部に新たに掘削する。調整池空洞の寸法は、岩盤の強度に応じて支保工が最も経済的となるような断面を選定する。容量は任意であるが、今回は発電電力 100 万 kw、発電継続時間 8 時間、有効落差 600m を考え、その時の理論調整池容量約 576 万 m³ とした。

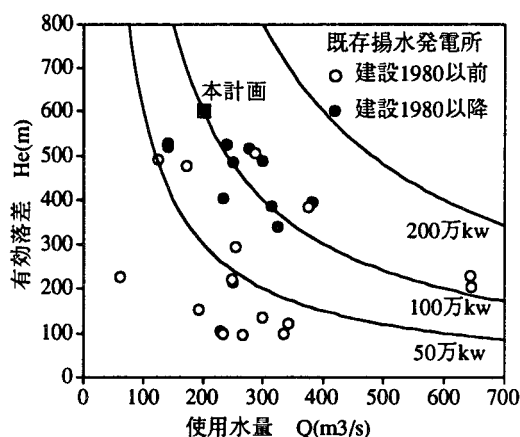
図一 3 に既存の揚水発電所の有効落差と使用水量の関係を示す。100 万 kw レベルの発電所では、落差 400～550m、使用水量は 250～400m³/s 程度が多い。落差を大きくすれば上部および下部調整池の容量が小さくなるので建設コスト上有利であるが、その分アプローチの坑道が深く長くなること、水圧管路などの規格、深部空洞の安定性などの問題が生じる。ここでは、空洞安定の実績、水圧管路などの落差に対する実績などを考慮して、深度 600m にある既存運搬坑道から水平坑道を延ばして掘削地点に接続することとし、技術的に確実性の高い 600m という落差を決定した。

b) 発電所本体は、基盤岩の花崗岩内の良好な岩盤中に建設する。発電機は計算上出力 30～40 万 kw 程度のを 2～3 台設置することを想定し、幅 25m、高さ 50m、長さ 150m 程度の馬蹄型あるいはきのこ型の空洞を新規に掘削する。空洞掘削予定の沿岸付近では基盤岩表面が浅いので、上部調整池、下部調整池との距離、基盤岩のかぶり、周辺の断層などを考えて管路、坑道が短かくする最も有利な位置を十分に選ぶことが可能である。

c) 上部調整池は、鉱山の有する数百万平方メートルに及ぶ沿岸の広大な未利用地または海面が見込めるので、下部調整池容量の大きさに応じた容量を確保することができる。形式は埋立地を利用した掘込式とするか、締切式を想定する。

d) 使用水は、鉱山内の湧水（淡水）を利用する。

e) 地下に立体的に展開している鉱山の既存坑道を、作業用坑、運搬路、ブリーチ場、空気抜き坑などとして利用する。また、既設の通気設備、運搬設備、排水設備発電設備は、本工事に対して十分余裕があり、これらを活用する。ブリーチの処理については、既存坑道の総容積が約 400 万 m³ あり、これを



図一 3 揚水発電所の有効落差と使用水量の関係
(Fig.3 Relation between effective head and water flow rate of pumped-storage power generation)

埋戻すことで、捨土の 2/3 が処理できる見通しである。

f) 保安上の問題については、供用時炭坑と切離して隔離する。

(4) 発電力の算定

a) 上部調整池：下部調整池容量に応じた容量を確保する。計算上水位は S.L.0m で一定と仮定する。

b) 下部調整池：地下石油備蓄で用いられるような岩盤タンクを花崗岩からなる基盤層内に建設する。当地域は、良好な固結度の高い花崗岩が広く分布しており、空洞の断面積、長さを適切に設計して基盤岩内に収容する。

c) 使用水量：最大発電電力 100 万 kw、有効落差 600m から使用水量は 200m³/s となる。

d) 有効落差の算出：発電時間中に、上部、下部の調整池の水頭差が減少するため、有効落差は減少する。ここでは上部調整池の水位を一定とし、下部調整池の水位上昇のみを考慮して計算する。また、損失落差は導水路、水圧管路について摩擦損失の式により得られる流速に基づく損失を算定する。水路内流速： $v = 4 \times Q / (\pi \times d^2)$ 、摩擦損失係数： $f = 124.5 \times n^2 / (d^{1/3})$ 、摩擦損失水頭： $h_l = f \times (L/d) \times (v^2/2g)$

但し、放水路等他の設備で発生する損失、水の押し込みに伴う損失は考慮しない。すなわち、導水路（長さ：L=500m、径：d=5.0m、粗度係数：n=0.013）、水

圧管路（長さ：L=900m，径：d=5.0m，粗度係数：n=0.013）における損失落差および下部調整池の水位上昇による損失落差を総落差から引いたものを有効落差とする。以上から，総落差は約625mとなる。

5. プロジェクトの経済性評価

(1) 概略工事費

水力発電所の建設工事は，土木，建築，電気関係工事に大別されるが，そのうちの土木工事をとっても，上池，取水設備，水路，水槽，水圧鉄管，発電所基礎，放水路，下池，その他付帯工事，仮設工事など，総合土木工事としての特色を持つ。したがって実際に施行するためには，合理的かつ経済的な施工法に基づく積算が要求される。施工法如何によって同じ地点でも経済性がかなり異なる場合があるので，入念な検討が必要である。その際，プロジェクト推進の可否を決定するのは明らかにその経済性であり，高い精度での経済性評価が重要である。表一2に概略工事費を示す。算出にあたっては，同様の花崗岩内に建設された揚水発電所の実績を参考とした。

この結果によれば，建設コストは約22万円/kwであり，一般の揚水発電所の建設単価と同程度である。また，計算した各工事単価は実績に基づくもので，仮設設備，ズリの運搬，処理，調査費地元対策費，などを考慮すれば更に低くなると考えられる。

(2) 経済性評価

経済性については工事費が基本であるが，同様に鉱業活動継続の経済性評価も鉱山の推移を知る上で重要である。更に，今回示す地下空間の継続的利用というプロジェクトを達成するためには，建設コスト面や施設運営費だけを視点とした直接経済にもたらす影響ばかりでなく，同時に生ずる社会的・環境的影響を長期的視点からも経済性評価に含める必要がある。

ある産業施設の立地に伴って，地域にもたらされる経済波及効果を算定する方法として産業連関分析がある。産業連関分析は，経済の循環構造にお

表一2 発電所プロジェクトの概略工事費
(Table.2 Estimated construction cost of UPSPG)

ケース		有効落差600m，出力100万kw，発電継続時間8時間	
項目	説明		(億円)
土地関係	用地取得	上部調整池容量：5,760,000m ³ ，深さ：10m 取得面積：5,760,000m ³ ÷10m=576,000m ² 用地取得費：576,000m ² ×20,000円/m ² =11,520,000,000円	115
建物関係	建物一式 仮建物一式	1,200,000,000円 94,000,000円 合計：1,294,000,000円	13
土木関係 水路 ダム トンネル	上部調整池 ダム	掘削量（掘込式）：5,760,000m ³ 土工：3,500円/m ³ ×5,760,000m ³ =20,160,000,000円 法面工：1,200円/m ² ×576,000m ² =691,000,000円 仮設工事費，管理費：上記の25% 取水口，雑工事 1,467,000,000円 合計：27,530,000,000円	275
	搬入路 トンネル	断面積：75m ² 延長：2,000m 工事費：2,000,000円/m×2,000m =4,000,000,000円	40
	導水路	延長：L=500m 内径：φ=5m 工事費：1,814,000円×500m =907,000,000円	9
	水圧管路	延長：L=2,250m 内径：φ=5m 管厚：13～50mm 総鋼重量：2,440tf/m×2,250m=5,490tf 工事費：1,473,000円/tf×5,490tf =8,086,000,000円	81
	放水路	延長：L=500m 内径：φ=5m 工事費：3,150,000円×500m =1,575,000,000円	16
	下部調整池	掘削量：5,760,000m ³ 工事費：23,000円/m ³ ×5,760,000m ³ =132,480,000,000円	1,325
	発電所 本体空洞	掘削量：120,000m ³ 工事費：40,000円/m ³ ×120,000m ³ =4,800,000,000円	48
電気機械	機械装置	基礎：コンクリート打設等一式 5,302,000,000円 諸装置：通信電灯電力装置，修繕試験装置， 給電装置，給電装置，雑装置一式 7,483,000,000円 合計：12,785,000,000円	128
	電気関係	水車，発電機，配電盤閉閉装置， 主要変圧器，自動制御装置，屋外鉄構， 諸機械装置一式 32,234,000,000円	322
合 計			2,372

いて，最終需要，付加価値に加えて企業間の中間生産物の販売・購入の取引構造を示した産業連関表，投入係数表を利用して，ある産業の生産が他の産業にどれだけの経済波及効果をもたらすかを算定する方法である。

ここでは，鉱山活動を行っている空間を継続利用した地下揚水発電システム立地及び鉱業活動の継続によって見込まれる経済波及効果を，通商産業省の昭和60年九州地域経済の産業連関分析の逆

表一3 工程表
(Table.3 Construction Time Table)

項目\年度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
用地取得											
上部調整池											
搬入路											
下部調整池											
水路関係											
発電所											
発電機器他											

行列表、投入係数表を用いて予測した⁸⁾。

(3) 地下揚水発電立地による経済波及効果

a) 施設への建設投資効果

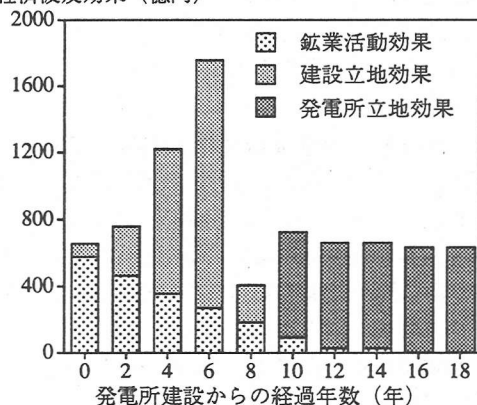
地下揚水発電システム建設に伴う投資需要の内訳は、用地取得需要、発電諸施設建設等の土木需要、機械装置・発電機等の電気機械需要、建物の建設等の建築需要といった項目に概略分類される。それぞれの建設投資需要額は、用地取得115億円、土木業1794億円、電気機械450億円、建築業13億円で、合計2372億円になる。ここで建設期間と工事工程を仮定して年度毎に投資需要額を分割し、それぞれ産業連関分析を行うことで経済波及効果を算出する。建設期間は工事開始から10年と仮定し、その工事工程は表一3とする。金額は1995年度を基準に、年間経済成長率4%で計算を行っている。

b) 発電所立地効果

発電所立地に伴う直接的経済効果としては、雇用の増加、電力出荷額等、現金給与額が考えられる。

電力出荷額に関しては、平成5年度販売電力量と料金収入より得られる単価約21.0円/kwhを基準とする。発電電力量は計画している年間可能発電電力量が2.834Gwhであることから、設備利用率70%を想定した場合の1.984Gwhとする。発電所建設の開始年を初年度に10年目から操業を開始するものとして、2年おきにその直接効果を計算した。

経済波及効果（億円）



図一4 発電所プロジェクト及び鉱山がもたらす経済波及効果

(Fig.4 Economic effects by the power plant project and the coal mine)

間接的経済波及効果の予測については、投入係数及び自給率表を用いて、需要増加額を算出する。さらに逆行列係数表を用いて、算出した需用増加額を代入することにより、発電所立地に伴う九州内への波及的増加生産額を算出した。

また、同様にして鉱業活動による経済波及効果を算出した。

図一4に、年度別の経済波及効果を示す。これは、現在操業中の炭鉱が徐々に生産を縮小すると仮定したものであるが、100万kwレベルの発電所の立地によって、同程度の波及効果が継続されることになる。今回の計算では、工期を10年としたが、スムーズな産業の移行ができると用地取得、仮設工事が大幅に短縮できるので、需要額の一時的低下も抑えることができる。

6. 地下揚水発電システムのまとめ

一般の揚水発電所は、山間部に建設されるが、その立地は非常に厳しい環境にあり、経済性、建設技術上で有利なサイトの選択の余地は少なくなっている。ここで検討した揚水発電は、平地部を上部調整池として、地下深部の空洞を下部調整池とする地下揚水式と称するもので、現在の技術レベルで十分に対応でき、また、現場の実績の裏付けもあって実現可能性は高い。発電能力としては、有効落差

600m, 発電継続時間8時間で最大出力100万kw程度の施設が経済的に建設できる。

この地下揚水発電の特徴としては、次のことがあげられる。

(1) 落差800m, 発電継続時間8時間, 出力200万kw程度までの地下揚水発電が, 技術的に可能と考えられる。しかし, 落差600m出力100万kw程度がリスク, 経済性, 当地域の需要などを考えると実現性が高い。また, 需要に応じて十分に拡張の余地がある。

(2) 発電所の立地に関与しない部分は採炭を続けることが可能である。

(3) 将来の拡張を想定した事業の展開という計画性を持つことができる。今後, 炭鉱の縮小にともなって発電規模を拡大するという産業システムのスムーズな移行が可能であり, 立地地域の衰退対策となる。

(4) 休廃止以降, 放棄地となる可能性の高い用地を有効に利用することができるので, 他の新規地点の開発をせずに済み, 自然環境保護および国土の有効利用の観点からも望ましい。また, 地下空間が放置された場合に発生する新たな鉱害を防止することができる。

(5) 鉱山の持つ排水などの既得権利や既設設備を利用することにより, 施工のための仮設備工事費等の節約ができる。例えば, 空間内の空調送風設備, 運搬設備, 安全設備, 排水処理設備, 受電設備, 港湾設備などがある。

(6) 地表より-600mまでの坑道(立坑, 斜坑)が存在するので, 発電所本体, 下部調整池の地点へのアプローチはこれから水平に近い坑道で短距離で済む。また, 掘削土砂は地表に運搬せずに地下の残存坑道に埋設することより安価に対処できる。坑道を埋め戻すと, 炭鉱の地盤沈下を軽減できる。

(7) 地下の経験豊富な技術者, 作業者などの人材が確保されている。また, この地点の地質, 地盤の情報が豊富であるし, 地盤関係の調査が格段に少なく済む。また, 空間設計などに対するノウハウが蓄積されている。

(8) 坑内災害等から受ける炭坑のイメージとは異なり, 水力発電は環境に優しくクリーンな開発として実施が期待でき, 地域住民に良い印象を与え

ることができる。

(9) 新規地点に比べ既開発地域であるので, 排水, 地盤沈下など環境に対する対応の実績があり, 住民との合意が形成されている。また, 大部分の施設を地下に設置するため, 景観等にも問題がないなど自然環境の保全に優れるし, 地震, 台風等の自然災害からの影響も少ない。

(10) 比較的電力消費地に近く, 送電系統の要地にあり, 他の発電所とも良好な位置関係にあるため, 送電設備費用が最小で済む。

(11) 100万kw級の発電所を建設すれば, 現在の炭坑と同レベルの経済波及効果が期待できるため, 地域の衰退を防止できる。

参考文献

- 1) 江崎哲郎, 大久保洋介: 長期的にみた地下空間再開発の問題とその対応, 地下空間利用シンポジウム1994, pp. 109-116, 1994.
- 2) 土木学会他: 地下揚水発電(UPHS)と土木技術-その現状と技術的課題-中間報告書, 1993.
- 3) Fisher, F. S.: Design evolution of the Mount Hope Waterpower Project, Water Power & Dam Construction, pp. 37~41, July 1991.
- 4) Willett, C.: Summit hydroelectric pumped storage project, Symposium "pumped storage", Thomas Telford, London, 1990.
- 5) 清水建設株式会社: 岩盤内空洞貯水式揚水発電システム, 1992.
- 6) 日本海洋開発産業協会: 平成6年度地下貯水池式海洋揚水発電の調査補助事業報告書, 1995.
- 7) 三井石炭鉱業株式会社: 三池炭鉱概要, 1993.
- 8) 九州通産局: 九州地域経済の産業連関分析(昭和60年度産業連関表作成報告), 1985.