

7. 水力エネルギー開発と国際協力

INTERNATIONAL COOPERATION FOR HYDROPOWER DEVELOPMENT

村 良平* ・ 浅枝 隆** ・ 有田 正光***

Ryohei MURA, Takashi ASAEDA, Masamitsu ARITA

ABSTRACT; The global environmental issues are caused by the increasing demand for energy due to the growth of the world economy. Development of alternative energy sources can make a substantial contribution to reduce excessive dependence on fossil fuel through energy conservation. Hydropower is the most feasible source as a renewable energy and there remains about 80% of exploitable capability in the world. It is hoped that our country play an important role in many aspects of energy policies, technologies and international cooperation.

KEYWORDS; Hydropower, International Cooperation, Transfer of Technology

はじめに ～持続可能な開発を目指して～

経済成長とエネルギー需要には密接な関係がある。将来、エネルギー需要は開発途上国の経済発展に伴い年間2%以上の増加が予想され、西暦2020年には現在の2倍以上の需要が見込まれている。また、開発途上国の電力化率（電力消費量が総最終エネルギー消費量に占める比率）は先進国に比べ著しく低く、エネルギー需要の増加に伴い電力需要も大幅に増加するものと推定される。エネルギー需要の増加は必然的に地球環境に影響を及ぼさざるを得ず、持続可能な開発と調和するエネルギー開発が求められている。その一策として、本研究では新たな水力エネルギー開発の可能性と国際協力について検討を行った。

1. 水力エネルギー開発の意義と可能性

1.1 水力エネルギー開発の意義

(1) 地球規模環境問題に貢献する水力エネルギー

近年、オゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨、砂漠化等、地球規模の環境の汚染と破壊が国際的な問題として提起されてきている。このような状況の背景には、先進国における資源やエネルギーの過剰消費、開発途上国における焼き畑耕作等の環境の酷使があり、各々の問題は相互に密接に絡み合い、全体として複雑な問題群を形成している。このため、今後エネルギーの開発や利用を考える上で、地球規模環境問題は不可避の重要な要素であり、再生可能な水力エネルギーは本問題に大きく貢献するエネルギー源である。

(2) 再生可能（リニューアブル）な水力エネルギー

水力エネルギーは太陽熱による水循環をエネルギー源とする再生可能なエネルギーであるため、この利用により推定可採年数が約50年程度とされる石油、天然ガス、また約150年程度とされる石炭等の化石燃料の大幅節減が可能であり、その分これら貴重な資源を将来の世代に温存することができる。

エネルギー生産に必要な投入エネルギーと産出エネルギーを比較すると、水力エネルギーは他の電源に比しエネルギー収支が著しく高く、投入エネルギーの約17倍のエネルギーを産出しエネルギー投資効率の良

* ; 電源開発(株)原子力部 Nuclear Power Dept. Electric Power Development Co., Ltd.

** ; 埼玉大学工学部建設工学科 Dept. of Civ. and Envir. Engrg. Saitama Univ.

*** ; 東京電機大学建設工学科 Dept. of Civ. Engrg. Tokyo Denki Univ.

さを示している。(図-1 参照)¹⁾

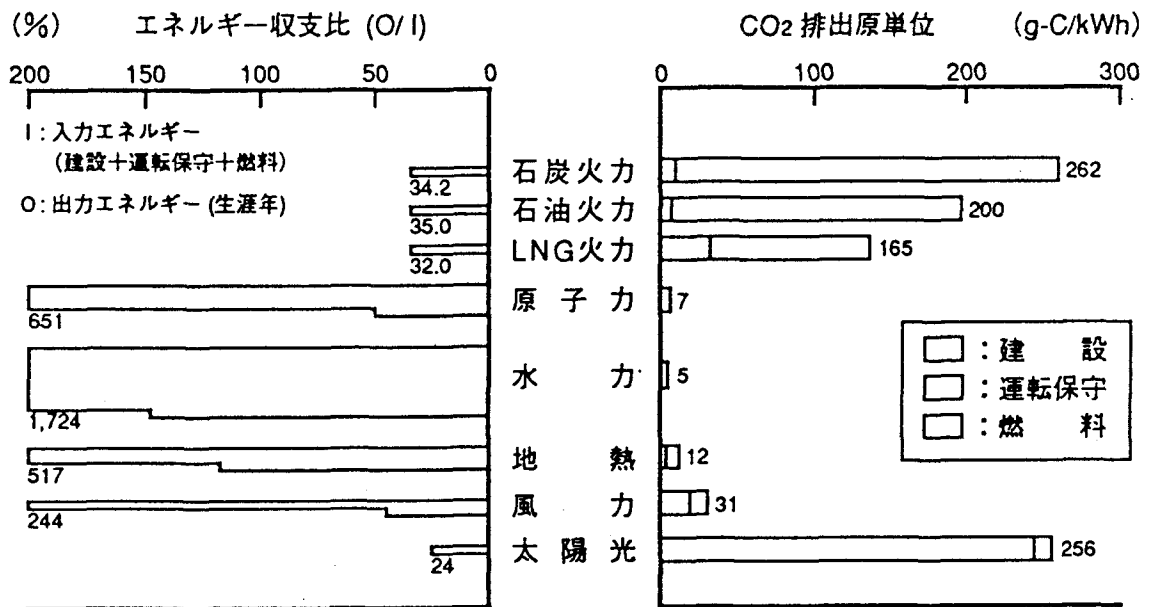


図-1 電源別エネルギー収支とCO₂ 排出量

(3) 技術的成熟度の高い水力エネルギー

太陽熱、風力、波力、潮力エネルギー等の再生可能エネルギーは概して技術開発途上にあり、技術的、経済的に解決しなければならない要素も多く未成熟であるのに対し、水力エネルギーは既に100年以上の歴史を有し、その建設、運転技術は十分完成されたものである。また、事故や故障等も少なく運用上の信頼性も非常に高い。従って、数kWから1千万kW以上までの広い幅で効率よく安定した電力を発生することができ、即戦力として開発可能な唯一の現実的化石燃料代替エネルギーである。

(4) 発展途上国の経済成長に貢献する水力エネルギー

水力開発ではダム・貯水池を構築する場合が多いので、発電用施設でありながら多目的ダムと同等の便益を立地地域周辺にもたらす。つまり、水力エネルギーの開発は土木工事等の内貨比率が高く資材の国内調達率も高いこと、また単にエネルギー供給のみでなく、灌漑、治水、上水供給、内水面漁業、観光等との総合開発の可能性を有していて、開発に伴う波及効果は大きく、発展途上国の経済発展に多面的に寄与するものである。加えて、ローカルエネルギーとしての水力開発は地域振興、地方電化等を通じて地域社会の活性化、社会基盤や生活の充足に貢献するものである。

さらには、石油など燃料を輸入している国にとって、国産資源である水力の開発は国際収支を改善する効果がある。世界には、電力需要が旺盛でありながら資源に恵まれず化石燃料に依存している国々と、自国には需要がないため豊富な水力資源を有効活用できないでいる国々がある。国際流通型の水力を貿易財として活用することによって、この不均衡を是正し、有限な資源である化石燃料から無限な再生可能エネルギーへの転換を図ることが可能となる。このことは、先進国に集まった富を継続的に循環させるシステムを組み込むことができるので、他の資源と異なり、先進国のみが一方的に獲得、利用することにはならない。

1.2 水力エネルギー資源の賦存量と開発可能性

(1) エネルギー供給における水力エネルギー

水力エネルギーは、世界の一次エネルギーの約10%を供給しており、また世界の発電電力量の約23%を賄う重要なエネルギー源である。²⁾

(2) 水力資源の包蔵量と開発の現況

世界の水力資源の包蔵量については、いくつかの報告が知られている。これらの調査結果は互いにかなりの差が認められるものの、包蔵量の概要を把握することは可能である。世界全体の理論包蔵水力は年間約4

0～50兆kwh、開発可能包蔵水力は年間10～20兆kwhと推定される。WATER POWER（1994）の調査結果を基に水力資源の開発の現況を概括的に捉えたと表－1³⁾に示す通りである。

開発可能な水力		表－1 世界の包蔵水力と水力開発の現状（単位：10億kwh）			
エネルギーのうち	地 域	理論包蔵水力	技術的開発可能水力	既 開 発 水 力	開 発 率（％）
既開発分は約21	アフリカ	2,929.3	1,525.4	56.2	3.7
%であり、残る約	北 米	1505.3	631.7	587.3	93.0
79%は未開発と	中 南 米	9,280.1	4,021.7	544.2	13.5
推定される。未開	ア ジ ア	18,551.9	4,611.6	476.1	10.3
発包蔵水力とされ	ヨーロッパ	2,390.0	769.8	397.9	51.7
る年間約12兆k	オセアニア	592.3	78.3	41.2	52.6
whは1991年	旧 ソ 連	3,942.2	603.2	469.4	77.8
の世界の発電電力	世 界	39,191.1	12,241.7	2,572.3	21.0

量を上回り、同じく1991年の世界の石油エネルギーの消費量に匹敵するものである。地域別の開発状況を見ると、先進地域では北米で約93%、ヨーロッパで約52%が既に開発されている。一方、アジア、アフリカ、中南米、旧ソ連は開発率が低く、これら4地域は世界の包蔵水力の約85%を占め、全世界の既開発量の約6倍に相当している。

このことは、水力発電が火力や原子力発電に代替できるということではなく、水力の可能性がかなりあるということと理解すべきであろう。なぜならば、開発可能な水力資源が地域的に偏在し、大規模な需要地から遠く離れているからである。なお、この未開発包蔵水力には、環境問題や国際問題などの社会的事由により、すぐには開発できないものが含まれている。反対に、近傍に需要がないために調査が不十分な地点は計上されていない。そのところが、より精度の高い水力資源調査が必要であると言われている所以である。

2. 水力国際協力の意義と将来性

2.1 水力国際協力の意義

発展途上国の一人当たりエネルギー消費は先進工業国の約10分の1という低い水準にとどまっていて、その僅かなエネルギーですら、大部分をバイオエネルギーに依存しており森林破壊と砂漠化をもたらしている。途上国単独でエネルギー問題を解決しようとしても必要な成果を出すことはできない。例えば、送電網の拡張は、農村地域での低い収益性によって阻害されており、個々に独立した小規模な分散型電力システムも新しい技術のコストパフォーマンスが低いため困難に直面している。エネルギーシステムを近代化しようとしている諸国において大きな障害となっているのは国際収支であり、それがエネルギー資源を含む全ての輸入に上限を設けざるを得ない状況に陥っている元凶である。結局、市場メカニズムや規模の経済に関わるどころの政治・社会・経済の問題に帰着する。

このような中で、エネルギー資源の輸入・消費大国である我が国は、水力開発分野での国際協力を通じて、貧困や経済の困難に喘ぐ後開発途上国における社会基盤の整備や民生の向上に寄与することはもちろんのこと、人口の増加と経済発展によって今後のエネルギー需要が急激に増加することが見込まれている発展途上国のエネルギー資源開発の促進に協力すること、さらには世界的視野に立った国際エネルギー需給の安定と地球規模環境問題を緩和するため、特に発展途上国を中心に大量に賦存する未開発水力の開発について積極的な貢献をすることが期待されている。

2.2 水力国際協力の将来性 ～新たな方向を求めて～

現在および将来の水力開発国際協力には、次の3つの形式があると思われる。第一の型式は従来から行われてきた中枢電源開発である。発展途上国が自国内の産業用、民生用の電力需要に対応するための主要な供給力として、先進国に協力を要請して開発するMW級（概略出力規模1～1,000 MW）のものである。この形式は従来から実施されてきている最も普遍的なものである。しかし、このような形の国際協力は、途上国

の財政・国際収支の悪化から、件数が次第に少なくなりつつある。日本においては最近、このような単発的協力方式の弊害に関する反省意見も出始めている。

第二の形式は分散型の小水力開発である。これは、地方の農村の独立した需要に対応するためのkw級（数kw～1,000 kw）の小規模な水力発電所を対象とする。この形式は商業ベースには乗りにくいなどの理由から、前述の形式に比べれば実績が少ない。日本の無償援助によって1件当たり5～10億円規模の開発がLLDC（後開発途上国）を中心とする国々で実施されている。

第三の形式は国際流通型の大規模水力開発である。世界には国際河川や電力需要地から遙かに離れた奥地に眠る大規模な水力開発可能地点が多く存在する。この形式はこれらの資源を、送電線あるいは水素を使ったエネルギー輸送等を媒体として、国際的に流通させることにより、地球規模の電力需給バランスの確保に役立てようとするものである。今後、我が国の水力国際協力の充実を図るためには、既存の協力方式の拡充はもとより、新たな協力対象分野の拡大、即ち住民生活に密着した「分散型小水力開発」、および多国間にまたがる「国際流通型大規模水力開発」についても協力分野を拡大していくことが重要である。

2.3 分散型小水力開発の場合（農村電化）

我が国では当たり前のことである家庭への電力供給も、発展途上国においては一部の人々のみがその便益を享受している場合が少なくない。例えば、表-2⁴⁾ はアジア地域の電化率（家庭ベース）を示したものである。このように未だ過半数の家庭が電気を使えない状態にあるという国が多数存在する。

我が国が無償資金協力を実施したブータンの小水力開発の事例⁵⁾ では、現地の自然および社会的条件を考慮して発電機器等が選定された。水車は、河川流量が変動しても対応しやすいように、Osberger Type と呼ばれる型式が選定され、負荷の変動があっても回転速度を一定に保つような電子制御装置が付けられた。発電機は水車に直結した同期発電機である。これらは、発電効率が60%（通常は90%程度）と極端に低くなることをあえて承知の上で、維持運転の容易さを意図して選定されている。

また、我が国が中南米の各国からの強い要請により汎用ポンプを利用した事例⁶⁾

によると、小水力発電用水車（ポンプ逆転水車）を主体とした水力発電設備を既設のリハビリ用として25組が無償で供給された。ポンプ逆転水車による発電装置とは、大量生産されているポンプに小改造を加え、これにダミーロード式ガバナーを設け、このポンプを逆転させて水車として使用するものである。この発電装置は200kw以下では従来型の水車を使った発電設備に比べ、非常に安価（1/3～2/3）で耐久性に優れ、最高効率もほぼ同等で、運転操作および保守も容易なので今後大いに利用されるものと期待されている。これらの型式の機器は広く使用されており、技術的にはほぼ完成されたものである。しかし、経済的に貧しく技術水準の低い途上国の農村部に普及させるには、価格、交換部品、維持修繕の面で、さらに改良の余地がある。オートバイや自動車あるいは一部農業機械がそうであるように、農民に密着したいわゆる「修理屋」が扱える範囲のもので構成されていなければならない。その際は往々にして、先進国のメーカーは製作した機器のコストを回収できない可能性が強い。ゆえに、さらなる技術開発が求められるとともに、先進国が資金を出し中進国が製作するという国際分業体制が望まれる。

表-2 アジア各国の電化率（単位：％）1990年データ			
各国の電化率（注：インド、ベトナムのみ村落単位の電化率）			
アフガニスタン	6	モンゴル	不明
バングラデシュ	12	ミャンマー	6
ブータン	10	ネパール	9
カンボジア	33	パキスタン	37
中国	66	パプアニューギニア	21
香港	100	フィリピン	61
インド	80	シンガポール	100
インドネシア	24	スリランカ	29
韓国	100	台湾	100
ラオス	12	タイ	71
マレーシア	82	ベトナム	54

2.4 国際流通型大規模水力開発の場合

自然エネルギーである水力を利用する場合の最大の課題の一つはその輸送である。長距離の送電線は、長距離海底ケーブルの敷設、補修などに代表される技術的な問題のほか、初期投資が大きい、通過地の政情不安に脆いという課題または弱点を有する。

そこで、電気エネルギーを石油などと同様に船で輸送できる燃料に変換することが考えられる。わが国が提唱しているWE-NET (World Energy Network) 構想は電気分解で水素を製造し、これを液化あるいは他の媒体に変換し、需要地に輸送するシステムである(図-2参照)⁷⁾。

これによりエネルギーの貯蔵も可能になるので、再生可能エネルギーの特質である生産の不安定性が克服できる。これまでに検討された輸送方法としては、液体水素やメタノール・一酸化炭素などを含めて6種類がある。エネルギー輸送効率

は約70%、エネルギー価格は到着時点で5~15 UScent/Mcal と試算されている。この構想で解決を求められる技術的課題としては、電気分解の効率化(現行の60~70%から90%)と電解槽の大型化(0.01m³から1 m³へ)を含む水素製造技術、高効率水素化・脱水素化のための触媒の開発と専用タンカーの製造を含む大量輸送技術、水素の分散貯蔵・輸送技術、水素燃焼制御技術を含む発電技術等々の革新など多岐にわたっている。この構想が実現すれば、世界的規模でCO₂の削減、国際エネルギー需給の緩和、途上国の新たなエネルギー生産・輸出産業の育成に貢献することができよう。但し、この構想の経済性検討における試算によれば、現地水力発電規模100万kw、現地水力発電単価2円/kwh、輸送距離5千kmの条件で、日本国内で水素を発電利用した場合の発電コストは概ね20~30円/kwh程度である。現時点においては水素利用の発電コストは既存の発電システムに比較して、2~3倍程度となっている。従って、上記の構想が現実のものとなるためには、さらに大幅なコストダウンを図る技術革新が必須である。

3. 水力国際協力推進に向けての取り組み ~今後の課題~

3.1 水力資源調査の必要性

既に述べてきたように水力エネルギーは地球規模環境問題に大きく貢献するとともに、今後の世界の持続可能な開発に不可欠なものと言える。しかしながら、水力資源の開発は長期のリードタイム(調査-設計-建設-運転)を要し、また調査に多額の費用が必要なため経済性の比較的に有利な地点であっても未だ調査が進んでいない場合が多い。さらに、今後のリージョナル、グローバルレベルでのエネルギーベストミックスを追求する上で国際的な水力資源量の把握が是非とも必要である。

従来から各機関において実施されてきた調査は、各国が独自の評価基準と制度でまとめたものを単に集計したに過ぎず、その調査結果も非常に幅のあるものとなっており、それをもって水力資源量とするには余りにも貧弱である。このため現在および将来の技術的、経済的、環境的条件を踏まえた統一的評価基準のもとに地球規模の水力資源調査を早急に実施することが、今後の水力資源開発を促進する上で重要であり、将来の世代に対する責務とも言える。

3.2 適正技術の移転(分散型中小水力開発を中心として)

我が国は、これまで発展途上国に対しエネルギー・環境分野で既に各種の支援策を講じて来ている。有償

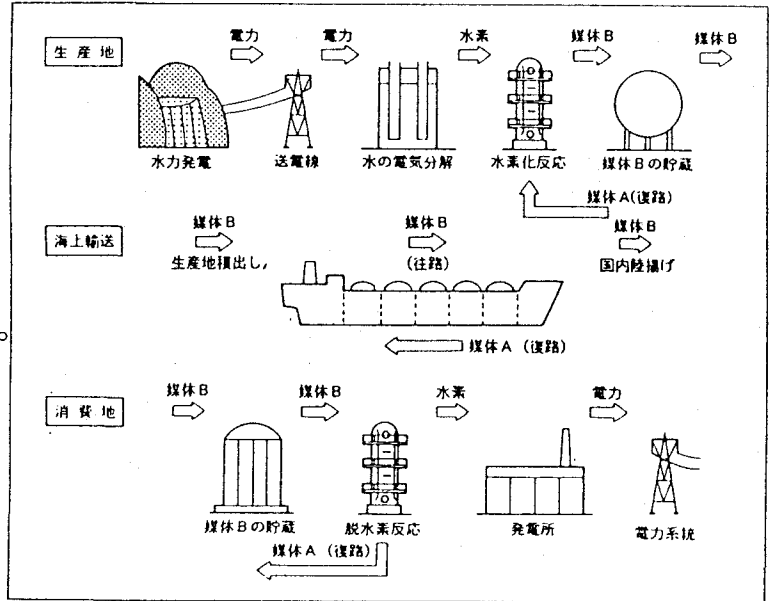


図-2 WE-NET構想概念図

・無償の資金協力、技術や資機材の提供、社会基盤整備の支援あるいは留学生教育といった型の支援も必要ではあるが、それだけでは開発途上国自身の自助努力による社会基盤形成とその後のさらなる発展は難しい。現実には、先進国の先端技術を開発途上国に直接移転しようとしても成功しないことが多い。かといって、途上国の低い技術能力に適合させることだけでは、現在の世界経済の国際化の動きに対応できない。途上国は、一群の先進国が支配する世界経済の技術構造と自国社会の技術能力との落差が生み出す矛盾を克服しながら発展を持続しなければならない。従って、途上国自身の自助努力によるテークオフがスムーズに行われるためのなんらかの後押しが必要とされる。

分散型小水力を普及させる場合、さらなる技術開発に加え、先進国が資金を提供し中進国が製作するという国際分業体制が望まれる。この体制は調査・計画・設計・施工・運用管理等すべての面で活用し得るものである。技術移転については、實際上、技術以前の社会経済体制に関わる問題解決が優先されるため、困難が付きまとうものだが、ごく最近になってこの障害を一気に克服してテークオフした台湾の事例⁸⁾が興味深い。段階的技術形成を果たした台湾をはじめとして、分業体制を十分担える水力先～中進国が少なからず存在するアジアでは、それらの国々の活躍の場が無限に広がっているように思われる。

3.3 水力開発と環境保全（国際流通型大規模水力開発を中心として）

世界ではエジプトのアスワンハイダム、インドのサルダル・サロバルダム、中国の三峡ダム等話題に上ったダム開発の例に見られるように、開発か環境か二者択一の議論がかなり長期的に行われ、いまだに明快な結論、同意が得られていない状況にある。その解決方法の一つ一つを取り上げれば、いわゆる「技術」の問題に帰するものも少なくはないが、その根底には社会的・経済的・民族的に捉えるべき複雑な問題認識が存在する。それ故にダムの必要性やダムと環境問題等について広範な議論を尽くし、正しく理解してもらうための地道な努力が必要である。

特に国際流通型大規模水力開発は、大規模貯水池の築造等を伴うことから、必然的に周辺の自然環境、下流環境に相当の影響を及ぼさざるを得ない。過去の事例等を踏まえつつ環境問題がダム開発の最重要課題であるという認識を関係者が共有し、環境影響緩和技術については、より一層の技術開発が求められている。国際流通型大規模水力の開発地点は我が国と全く異なる環境条件にあるため、国内の知見、技術のみでは対応が困難なことから、対象地域の環境に精通した途上国の学識経験者、専門家、技術者との情報交換、共同調査、共同研究等を進める必要がある。また、国内においても、例えば熱帯地域の環境に関する専門家等の人材育成にも努めることが必要である。

謝辞：本研究は広範かつ経験的な要素を含むため、エネルギー土木委員会水力国際協力小委員会での事例紹介や討論を通じて、貴重な資料や有益な示唆を得ることができた。玉井小委員長をはじめとする委員各位に紙面を借りて厚くお礼を申し上げたい。また、本研究を遂行するにあたり援助いただきました財団法人環境管理財団に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 電力中央研究所：研究報告（内山他、1991, 2）
- 2) 海外電力調査会：海外電力事業統計、1994
- 3) Water Power & Dam Construction Handbook, 1994
- 4) アジア開発銀行：1990年データ
- 5) 国際協力事業団：ブータン王国小規模水力発電機敷設計画（フェーズⅡ）、1992. 3
- 6) 国際協力事業団：ペルー共和国地方小水力発電所復旧計画総合計画書、1993. 4 他
- 7) 通産資料調査会：資源エネルギー年鑑1995/96年版
- 8) 中岡 哲郎：途上国における技術形成とわが国の技術協力、国際協力研究、Vol. 7, No. 2, 1991. 10