

8. 石炭供給・利用

8.1 はじめに

イランの鉱業の歴史は古いが、石炭産業においては近代的な開発や生産性の新技術が取り入れられたのは、ソ連の技術援助でイスファハンに鉄鋼ミルが建設されることになった1966年のことである。それ以前のイランの石炭生産は約25万トン/年であった。

現在イランには2つの高炉がイスファハンにあり、国内で生産されている石炭のほとんどがここで消費されている。しかし、国内炭の品質は必ずしも良くないため、1970年代以降イランは種々の国内炭とブレンドするために、品質の良い石炭をドイツやオーストラリアなどから輸入してきた。

炭鉱数は現在25炭鉱で、約2万7千人の従業員がここで従事している。

8.2 資源評価

8.2.1 地質的背景

イランはアルプス-ヒマラヤ造山帯の一部にあたり、同国北部を東西に走るエルブルズ山脈と、南部をペルシャ湾に沿って走るザグロス山脈との2つの若い褶曲帯、及び両褶曲に挟まれた中央地塊（カビール砂漠及びその周辺の海拔1000m前後の高地）から構成されている。エルブルズ・ザグロス両褶曲帯は北西にのびて合流し、アルメニア高原をへだてて西方のトルコのポントス・トロス両褶曲帯に連なっている。

主要夾炭層は、下部ジュラ系のライアスである。炭層数は多いが、一般に炭丈が薄く、炭層の大部分が厚さ1m前後、最大3m程度である。

炭種は瀝青炭・ガス炭及び燭炭であり、これらの40~50%が粘結性を有する。炭質をみると、一般に灰分が少なく、硫黄分は1~2%程度含まれる。発熱量は5,000~7,500kcal/kgのものが多い。瀝青炭は構造運動による擾乱のために粉炭化しているところが多い。

8.2.2 イランの地質層序概要

(1) 先カンブリア系

イランの最古の岩石は、非変成のカンプロ・シルル系におおわれた変成岩類である。変成岩類は主として片麻岩、片岩、千枚岩、ホルンフェルス、変質石灰岩などであり、所によって花崗岩、閃長岩をとまなっている。これらの変成岩類の一部は、先カンブリア系と考えら

れているが、まだ確実な証拠はないようである。トルコの地質を参照すると、変成岩類の中には、先ジュラ紀の広域変成作用にもとづいて形成されたものが含まれている可能性があると考えられる。

(2) カンプロ・シルル系

非変成の石灰岩、砂岩、頁岩、珪岩などからなり、Redlichia, Billingsella 等の三葉虫化石を含む。最下部の infraカンブリア系は、変成岩類を不整合に覆ってはいるが、カンブリア紀早期の赤色砂岩層とは漸移的であり、時代的に問題がある。

(3) デボン系

全域にわたって、同系はカンプロ・シルル系以下の地層を大きな不整合で覆い、イラン北西部では、下部は旧赤色砂岩層と呼ばれる赤色砕屑物が発達するが、上部は海成の石灰岩が発達している。イランの中部から南部にかけての地域は、Spiriferを含む海成堆積物となっている。

(4) 石炭・二畳系

主として石灰岩、ドロマイト、砂岩、頁岩からなっているが、イラン中部から北西部にかけては、上部にフズリナ石灰岩が存在する。カスピ海沿岸地域西部には、下部に石炭層の存在が報告されているが、これはトルコの黒海沿岸に分布する瀝青炭層に対比されるかもしれない。

(5) 三畳系

厚層の石灰岩からなり、頁岩、ドロマイト、石膏層をはさみ、同国中部以西において、二条・石炭系から連続して堆積している。

(6) ジュラ系

ジュラ系下部のライアスはイラン全土に広く発達しており、これは同国の主要夾炭層である。この層準の石炭層はアフガニスタンにも存在する。イラン北部及び南部のケルマン地域では、河成堆積物にはじまってジュラ系中部まで非海成堆積物で構成されている。しかしイラン南部では基底から海成の石灰岩や石灰質頁岩であり、保存不良のアンモナイトを含む。

構造運動からみて、ジュラ紀は重要である。すなわち、イラン中央部とその西部のイスファハンからハマダンにかけての地域では、ジュラ系は広域変成作用を受け、千枚岩や片岩となっている。この変成岩は、カレドニア運動による変成岩と混同されやすいが、前者は非変成のジュラ系に漸移することで区別される。広域変成作用にともなって、各地に火成岩の貫入があり、金属鉱床をもたらしている。

上部ジュラ系は、テチス海がイラン全土を覆った時期に形成された石灰岩であって、下位の地層を不整合に覆っている。

(7) 白亜系

後期ジュラ紀の構造運動後、白亜紀に広範囲な沈降運動があって、全土に白亜系堆積物が形成された。イラン中央部では、白亜紀前半は、上記の構造運動の結果として陸化した。ここでは褶曲したジュラ系のうゑにセノニアン基底礫岩が発達し、上にむかって厚層の石灰岩が重なる。

イラン中央部以外の地域では、白亜系は主として石灰岩、ドロマイト及び含アンモナイト頁岩砂岩互層からなっている。この白亜系の層相の一つの特徴として、上部に雑色メランゲと呼ばれるオフィオリチック岩層が存在する。これは超塩基性火山岩、堆積岩、変成岩が混在した岩類であって、トルコのオフィオリチック統に対比されると思われる。

(8) 古第三系

第三紀をつうじて、たびたび海進が生じたが、その規模は、中生代の海進に比べて局部的である。イラン南部、東部では暁新世、始新世のヌムリテス石灰岩、フリッシ相の堆積が厚く堆積している。イラン中央部では、下部始新統が欠如あるいは暁新-始新世の赤色岩層が発達して、南部、東部に対するモラッセ相を呈している。また、イラン西部では、オフィオリチック岩層が厚く分布する。

漸新統は一般に石灰岩や海成碎屑岩であるが、カスピ海沿岸、イラン中央部、西部、南部では、下部赤色岩層と呼ばれる陸成堆積物が分布し、石膏をはじめとする蒸発残留岩類がはさまれる。

(9) 新第三系

多くの地域において、漸新統上部から中新統下部にかけての地層は連続しており、これを一括して、イラン中央部ではクム (Cum) 層、南部、南西部ではアスマリ (Asmari) 層と呼ばれている。両層とも、主として海成石灰岩、泥灰岩からなり、イラン油田の主要産油層とし

ても知られている。

中新-鮮新統は、汽水成ないし淡水成の上部赤色岩層で特徴づけられ、同層の基底は蒸発残留岩で、その上位は赤色、緑色の泥岩及び砂岩の互層である。しかし、イラン南東部では、厚さ1万m以上のフリッシと石灰岩砂岩互層からなっている。イラン北西部の湖成鮮新統には、褐炭層が介在し、これはトルコに発達する同時代の褐炭層と対比できよう。ペルシャ湾岸では、厚さ3,000m以上の石灰岩層が堆積している。

構造運動は、漸新世-中新世、中新世-鮮新世に激烈であり、エルブルズ褶曲山脈は後者の時代に形成された。

(10) 第四系

上部鮮新統から第四系にかけて、上部赤色岩層を不整合に覆って、河成、湖成堆積物が分布し、陸地の上昇にともなって全土に段丘が発達する。火山活動が活発に行われ、各地域に熔岩、凝灰岩が流出、堆積した。

表8.1にイランの地質層序、図8.1にイランの地質概略図を示す。

8.2.3 探査活動

歴史的にみれば、イランの石炭賦存は18世紀初めに確認され、地質図は第2次世界大戦後、ドイツ人によって一部の地域において作成された。また、イランに約30年間在住したスイスの地質学者、ストックリン(Stocklin)も夾炭層の炭質調査をしてきた。それにもかかわらず、イランの石炭埋蔵量の集中的な地質調査や探査活動は、実際には1966年に始められた。それは高炉を基盤とした製鉄所の建設によるものである。その時以来、ソ連の地質学者達がNISCO(National Iranian Steel Corporation)とともに、詳細な地質調査、探査、採掘計画を綿密に立ててきた。

調査対象の炭田は、Shemshak層(上部三畳系から中部ジュラ系)と呼ばれているものに属する。一般に、この夾炭層は地殻の影響を多く受けており、そのため、採掘計画や採掘そのものを難しく、高い採掘コストを引き起こしている。イラン炭田地域は、エルブルズ炭田及びタバス炭田と大きく2にわけられる(図8.2参照)。

探査方法は、地質図の作成、コアボーリング、物理探査の他に、顕微鏡調査での古植物学、岩石学、記載岩石学が含まれている。

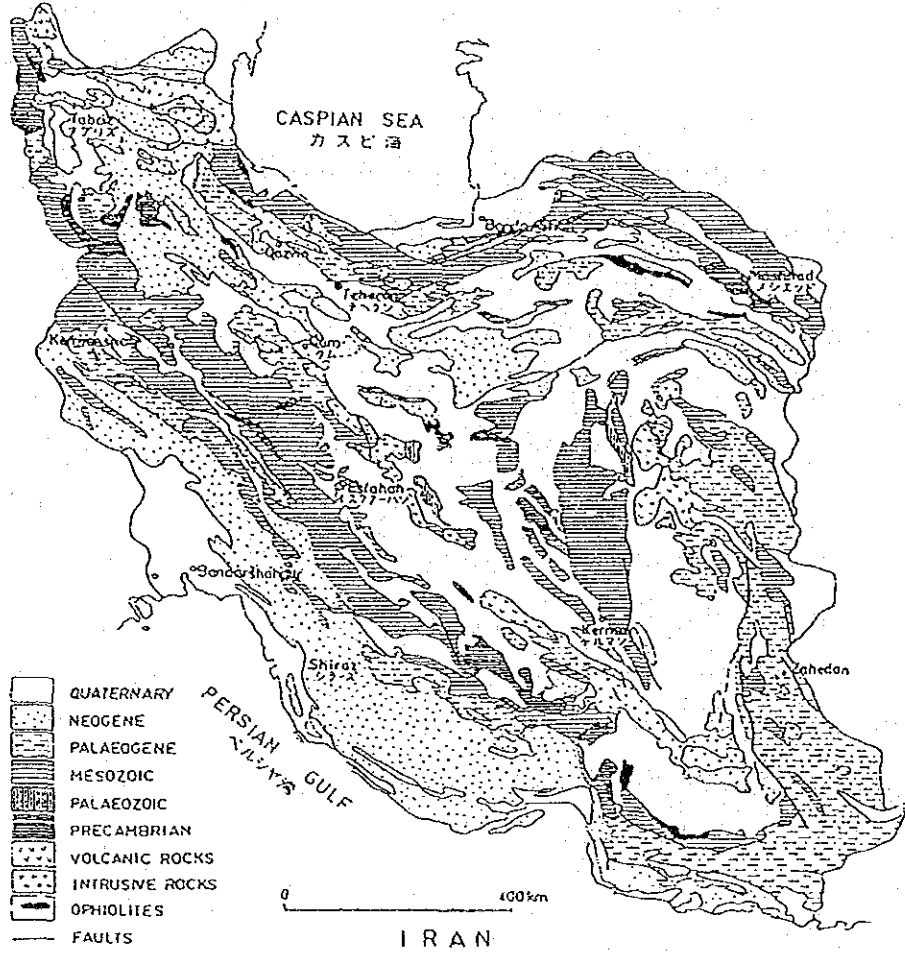
山岳地形のため、地表の大部分の露頭が採掘のための坑道展開に適している。しかしながら、一般に層厚は1m以下であり、炭層傾斜も通常20°以上である。

表 8.1 イランの地質層序概要

	イラン北部	イラン北部カスピ海沿岸 (ヒラカス地域)	イラン		イラン西部	イラン西部東部
			北西部	北東部		
新第三紀	湖成堆積物 火山岩 湖成テラス トラヴァーチン	河成堆積物 湖成砂岩 礫岩	礫岩 火山岩 テラス	礫岩 湖成カス テラス 湖成凝灰	湖成堆積物 テラス 礫岩	礫岩 火山岩
中新世	湖成頁岩 粘板岩	礫岩 砂岩 凝灰岩 湖成頁岩 湖成砂岩	礫岩	礫岩 湖成頁岩	湖成頁岩 赤色頁岩 凝灰岩 テラス テラス	礫岩 赤色頁岩 フリック
漸新世	礫石 頁岩 砂岩 赤色頁岩	石灰岩 下部赤色頁岩	クム層 (石灰岩・凝灰)	クム層	石灰岩 砂岩 赤色頁岩	フリック 礫岩
始新世	アルゲラテライト 火山岩	石灰岩 緑色凝灰 オフオリテック類	下部赤色頁岩 スノムリテス石灰岩	オバキリテス 頁岩 砂岩 赤色頁岩	石灰岩 砂岩 赤色頁岩 石灰岩 凝灰岩	石灰岩 赤色頁岩 フリック
白第三紀	凝灰岩・粘板岩 砂岩	凝灰岩 石灰岩・砂岩	頁岩・石灰岩 火山岩	オフオリテ 石灰岩 赤色砂岩 凝灰岩	石灰岩 オフオリテ 石灰岩 アンモナイト 石灰岩	石灰岩 頁岩 火山岩 石灰岩
ジュラ紀	石灰岩・頁岩 火山岩 石灰岩・頁岩	石灰岩 石灰岩 砂岩 凝灰岩	石灰岩 砂岩・頁岩 凝灰岩 火山岩	凝灰岩 石灰岩 頁岩 コライン	石灰岩 アンモナイト 石灰岩	石灰岩
三畳紀	アンモナイト 石灰岩	アンモナイト 石灰岩 砂岩	アンモナイト 石灰岩	アンモナイト 赤色砂岩 石灰岩	赤色砂岩 アンモナイト 石灰岩 アンモナイト	
二畳紀	フスリテス石灰岩 凝灰岩 石灰岩	フスリテス石灰岩 赤色頁岩 凝灰岩 石灰岩	フスリテス石灰岩 石灰岩	アンモナイト 石灰岩 アンモナイト スドリフ 凝灰岩	フスリテス石灰岩 凝灰岩 頁岩	石灰岩 アンモナイト
予白第三紀	スドリフ石灰岩 赤色頁岩 凝灰岩	凝灰岩 アンモナイト 赤色砂岩 凝灰岩 火山岩	凝灰岩 アンモナイト 砂岩・頁岩	アンモナイト 砂岩 頁岩	凝灰岩 頁岩	
シノクリン		凝灰岩 頁岩 石灰岩	頁岩 凝灰岩	石灰岩 凝灰岩 凝灰岩 火山岩	頁岩 凝灰岩 石灰岩	
プロトリ	凝灰岩 石灰岩 凝灰岩 凝灰岩	石灰岩 凝灰岩 凝灰岩	石灰岩	石灰岩 凝灰岩 凝灰岩	石灰岩	凝灰岩 凝灰岩

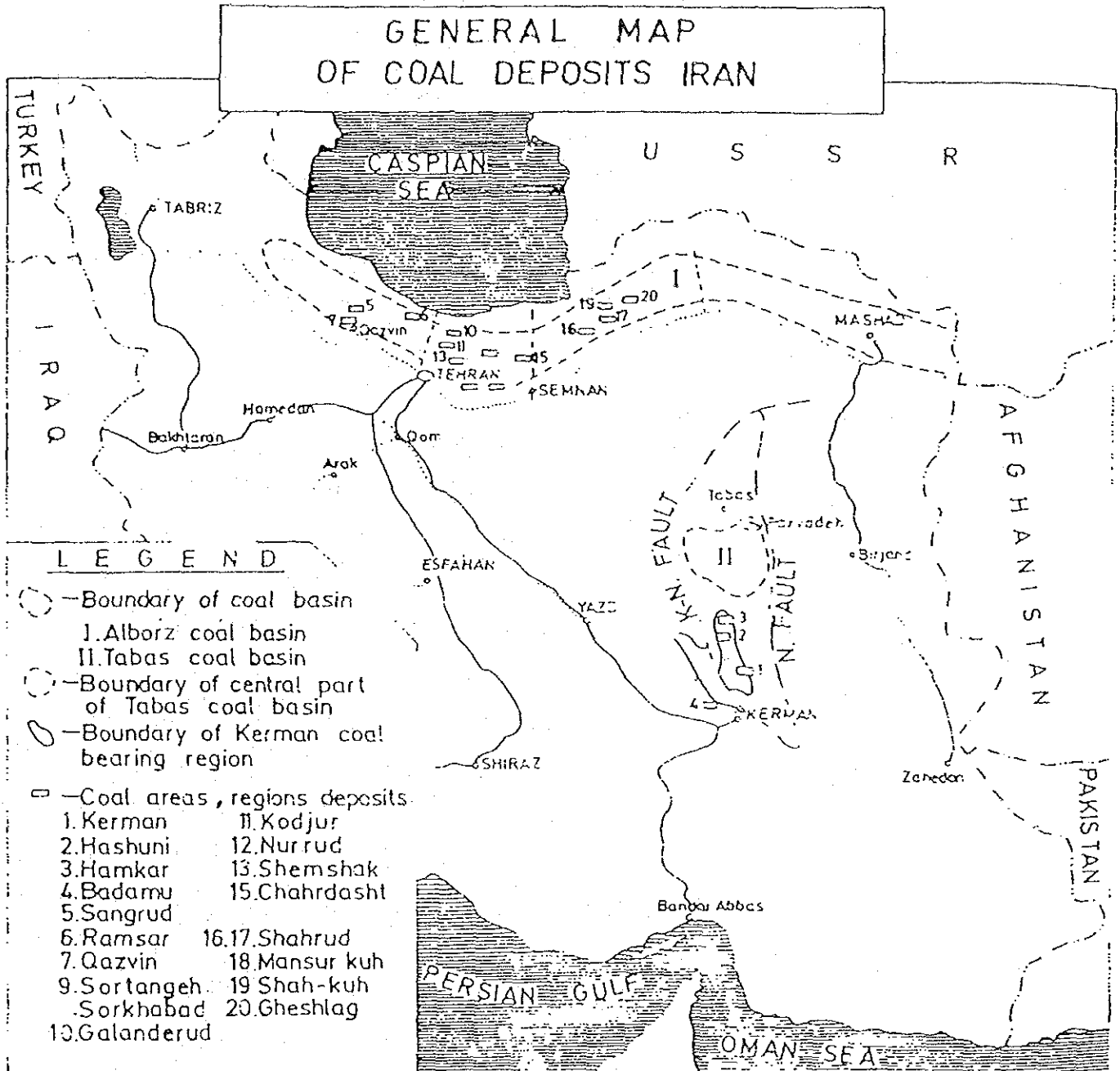
(出所) 地質調査所月報 (第23巻第11号)

図8.1 イランの地質概略図



(出所) 井上英二『世界石炭資源資料』

図8.2 イランの炭田分布図



(出所) Tabas Coal Exploration & Mining Complex

8.2.4 埋 蔵 量

石炭探査の結果、タバス、中央エルブルーズ、ケルマン地域がもっとも顕著なところである。現在、ケルマン地域の炭鉱と中央エルブルーズ地域の炭鉱が生産段階にあり、タバス地域は探査及び開発段階である。

表8.2は、N I S C Oがロシア専門家との協力によって調査した探査結果をもとにして作成したイランの石炭埋蔵量である。

8.2.5 イランの石炭分類

石炭分類方法は、各国それぞれの分類の仕方があり、イランは旧ソ連からの技術援助の影響もあって、G O S T（ソ連規格）の石炭分類方法を採用しているようである。

イランの石炭分類を以下に示す。

分 類	略称	揮発分	ワットマーク (Y指数)	I O R	発熱量 (kcal/kg)
長焰炭 Flame coal	R	37.41-50	0	75- 80	7430-7710
ガス炭 Gasy	G	37-46	6-25	80- 85	8033-8489
ガス脂肪炭 Fat Gasy	G J	31-37	6-25	83- 89	8200-8700
脂肪炭 Fat	J	33	26	86- 79	8400-8800
コークス脂肪炭 Coking Fat	K J	25-31	6-26	89- 93	8300-8800
コークス用炭 Coking	K	17-25	6-25	94-102	8500-8900
— Lean Uncokable	O C	13-17	6-10	103-106	8500-8750
微粘結炭 Lean	T	10-17	0	106-116	8600-8700
炭焰炭 Semi-Anthracite	A	7-10	0	114-120	
無煙炭 Anthracite	A	4- 7	0	120	

(出所) Ministry of Mine and Metals

表8.2 イランの石炭埋蔵量

Name of Mine Area	Kind of Reserves (MT)			TOTAL (MT)
	Actual	Probable	Prognostic	
Eastern Alborz	23.94	24.43	917.47	965.84
Central Alborz	54.79	464.02	2018.61	2537.42
Western Alborz	2.6	22.26	20.5	45.36
Kerman	216.93	106.38	1124.5	1447.81
Tabas-Nayband	-	-	229.4	229.4
Tabas-Mezino	219.13	494.11	7102	7815.24
Kerman-Badamoye	-	-	2994	2994

(出所) JICA研修生報告書

8.3 生産・供給の現状と課題

8.3.1 既存炭鉱

(1) イランの石炭生産体制

大部分の石炭会社は、一部の私企業を除いて、イラン政府が所有している。そのほとんどの炭鉱は、鉱山・金属省の傘下であるNISCOが運営しており、イラン全体の生産量の約93%をカバーしている（1989年実績）。

これらの組織構造を図8.3に示す。

(2) 開坑方式

a) 水平坑

イランの炭田は主として山岳地帯にあるため、炭層の走向に直角にはいる cross cut または adit による開発、及び走向に沿って坑道を展開する走向坑道による開発を行ってきた。この方法によれば、水平坑道水準以上の採掘区域においては、採掘された石炭及び湧出する地下水は、共に重力により最下部の水平坑道に集まり経済的である。

従って、水平坑道以上の炭量が多く、なるべく低い位置に水平坑道を設けることが必要である。

イランの炭鉱も上記の利点を利用して水平向による開坑法を採用し、コストの低減に努めてきた。坑道枠も木材利用による三枠またはTH枠（トーサン・ハインツマンー溝型鋼使用の可縮性鉄枠）を使用し、整備されている。石炭の坑道運搬には0.6~0.7トン炭車を使用し、蓄電池式機関車により牽引している。

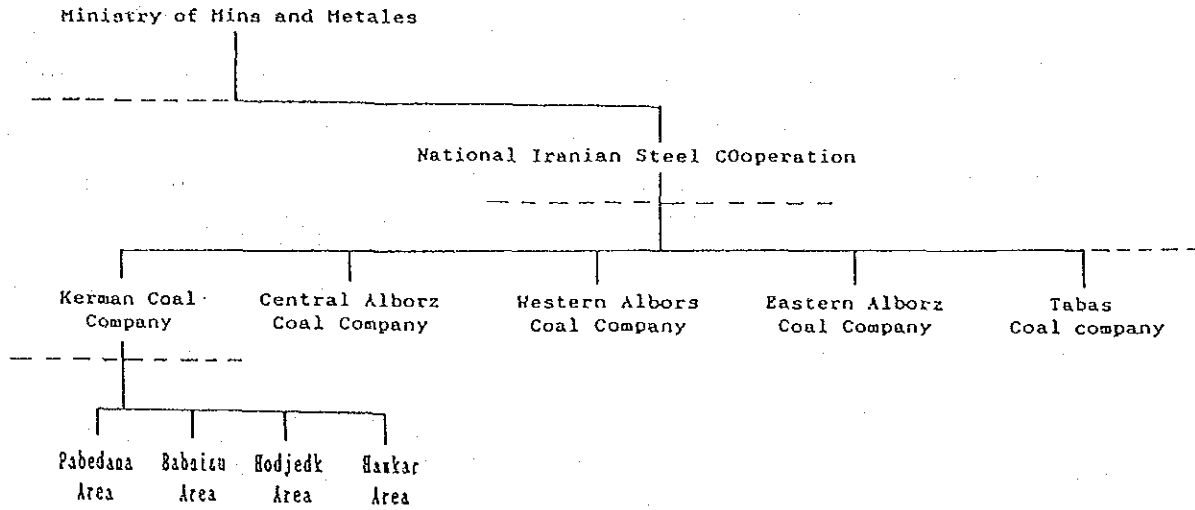
坑内ビンより坑外までは、ベルトコンベアを利用して搬出することが多くなってきている。しかし、各炭鉱とも水平坑道水準以上の浅部が掘りつくされつつあり、増産することもできなくなってきたため、NISCO関係の諸炭鉱は深部開発のため立坑及び斜坑開削を進めてきている。

b) 斜坑

炭層に沿って開坑する場合、上盤岩石より開削して所定位置で着炭させる場合と、下盤岩盤より開削して所定位置で着炭させる場合の二通りがある。また、斜坑の角度も、ベルトコンベアを設置する場合、スキップまたは炭車を使用する場合で異なる。

掘削技術及び掘削速度としては、斜坑が立坑に比べて有利であるが、特に深部まで掘削の場合は坑道長が長くなり検討を要する。

图8.3 国营石炭会社組織構造



(出所) JICA研修生の報告書

運搬能力はベルトコンベア使用の場合、ベルトのスピードアップ及びスチール・コード・ベルトの使用により能力増加が可能であって有利である。イランのN I S C O関連の炭鉱では、South Pabedana炭鉱で角度 36° のスキップ斜坑380m、及び炭車斜坑220mを、また、Alburuz地区のZyirab炭鉱及びSangrud炭鉱で各2本の斜坑が稼働している。

c) 立 坑

深部開発時に立坑を開削する例が多いが、掘削技術及び立坑設備は特殊で高価であり、運搬能力をはじめから設定しなければならない。N I S C O関連炭鉱は急傾斜炭層を採掘しており、深部開発の準備を進めているところが多い。Kerman地区のBabnizu Capital炭鉱（直径5m、深さ400m）およびHodjedk炭鉱（直径5m、深さ290m）が稼働中である。立坑運搬には、スキップまたは二段ゲージの炭車巻き上げ方式を採用している。

(3) 採掘方式

イランの炭層条件はほとんどが坑内採掘による開発で、露頭の一部を除き、大規模な露天掘り採掘に適する場所はないと考えられる。現在採掘されている主要炭層は、層厚0.5~1.5mであり、炭層傾斜は緩傾斜で $10\sim 25^{\circ}$ と、急傾斜 $35\sim 85^{\circ}$ の2種類がある。イランの炭田は小規模の向斜構造が数多く存在するため、浅部は緩傾斜で深部になるに従い、急傾斜となる場合が多い。炭層の上下盤は頁岩が多く、あまり硬質でない。地質構造を除き、炭層及び上下盤条件については、日本の炭鉱の炭層条件に類似している。

緩傾斜炭層については、木柱及び摩擦型鉄柱使用の長壁式採炭法を採用している。上下盤が比較的柔らかい頁岩のため、支保坑道の長い柱房式採炭法を採用することは無理とみられ、すべて長壁式採炭法を行っている。また急傾斜炭層については、N I S C O関係の炭鉱では、昇り向き充填採炭法を採用し、民間の炭鉱では、偽傾斜採炭充填法及び木積移動採炭法を採用している。

a) 長壁式木柱払い …… 偽傾斜層

N I S C O関連のKerman Pabedana炭鉱の例

炭層：Seam D₂、炭丈：1.2m、炭層傾斜：20-22、上下盤：頁岩、払い面長：100-130m、支保列柱：3-4列柱方式、採掘方法：ピック採炭、払い面運搬：シングル・チェーン・コンベア、木柱柱間：0.6-0.7m、採掘跡：充填材充塞（充填材は地表の岩石破砕物を使用）、作業員：10-16人/方、計画進行：1.2m/日（3方）

b) 長壁式鉄柱カッペ払い …… 緩傾斜

N I S C O 関連のKerman Pabedana炭鉱の例

炭層：Seam D₂，炭丈：1.2m，炭層傾斜：20，上下盤：頁岩，払い面長：100-130m，支保列柱：摩擦型鉄柱とカッペによる3-4列柱方式，採掘方法：ソ連製Conine採炭機使用，払い面運搬：ダブル・チェーン・コンベア，鉄柱柱間：0.7m，採掘跡：自然崩落，作業員：15-20人/方，計画進行：1.2m/日（2方）

c) 木積移動採炭法 …… 緩または中傾斜

Minak社所有のAlburz地区Gheslugh炭鉱の例

炭層：Seam No. 2，炭丈：0.9m，炭層傾斜：20-25，上下盤：頁岩，払い面長：50-90m，採掘方法：ピック採炭，払い面運搬：鉄板樋による流送，採掘跡：自然崩落，上坑道炭柱残し（3m×5m），下坑道充填壁作り（幅3m），空木積移動，作業員：8人/方，採掘量：20-25トン/方/切羽

d) 昇り向き充填採炭法 …… 急傾斜層

切羽面は35°傾斜の約25mの短い坑道が2本，中央の坑道から左右対象に設置され，石炭の採掘はそれぞれの切羽面で，圧気式ピックで行われており，石炭はシュートを通り直接炭車に積み込まれる。

切羽面での石炭の採掘は上部から下部に向かって1.2mの幅で進行していき，採掘跡はメイン坑道に0.8m²の炭車で運ばれた碎石ですぐに充填される。この碎石用の炭車は中央坑道の上で荷卸ろしされ，直径30cmの金属製のパイプを通してそれぞれの切羽面に運び込まれる。

支保は切羽面後方に，直ちに構築されていき，この支保に使用する木材も充填用のパイプを用いて採掘場所まで運ばれていく（図8.4参照）。

採掘箇所の通気は下側の坑道から供給される（図8.5参照）。

N I S C O 関連のKerman地区Babnizu炭鉱の例

炭層：Seam D₂，炭丈：1.2m，炭層傾斜：85，上下盤：頁岩，払い面長：40m，採掘方法：ピック採炭，払い面運搬：鉄板樋及び漏斗使用，採掘跡：充填材充塞

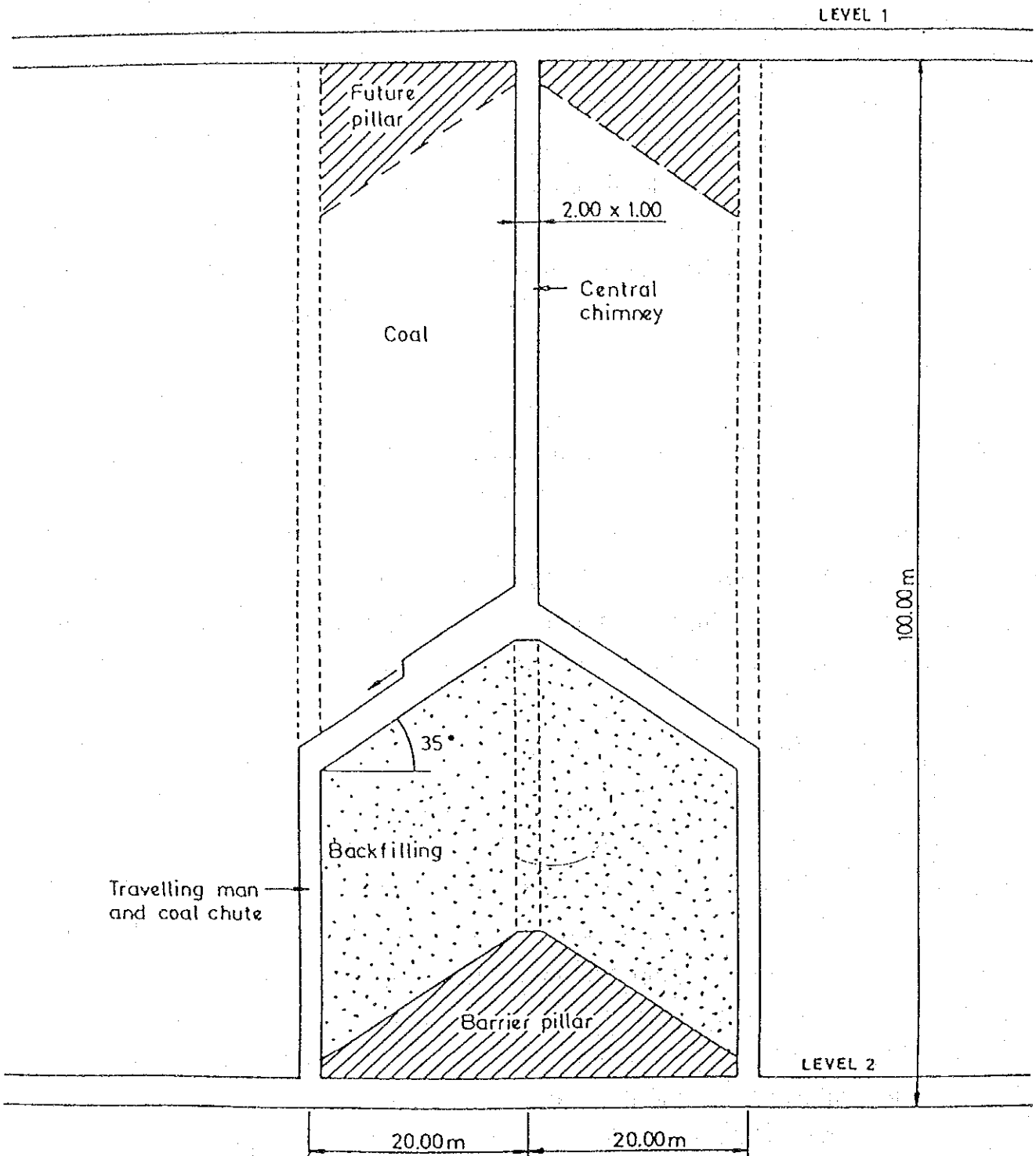
e) 偽傾斜充填払い …… 急傾斜層

Minak社所有のAlburz地区Gheslugh炭鉱の例

炭層：Seam No. 2，炭丈：0.8-0.9m，炭層傾斜：65，上下盤：頁岩，払い面長：50-300m，採掘方法：ピック採炭，払い面運搬：鉄板樋による流送，払い面偽傾斜角度：33°，採掘跡：充填材充塞，採掘欠口長：30m

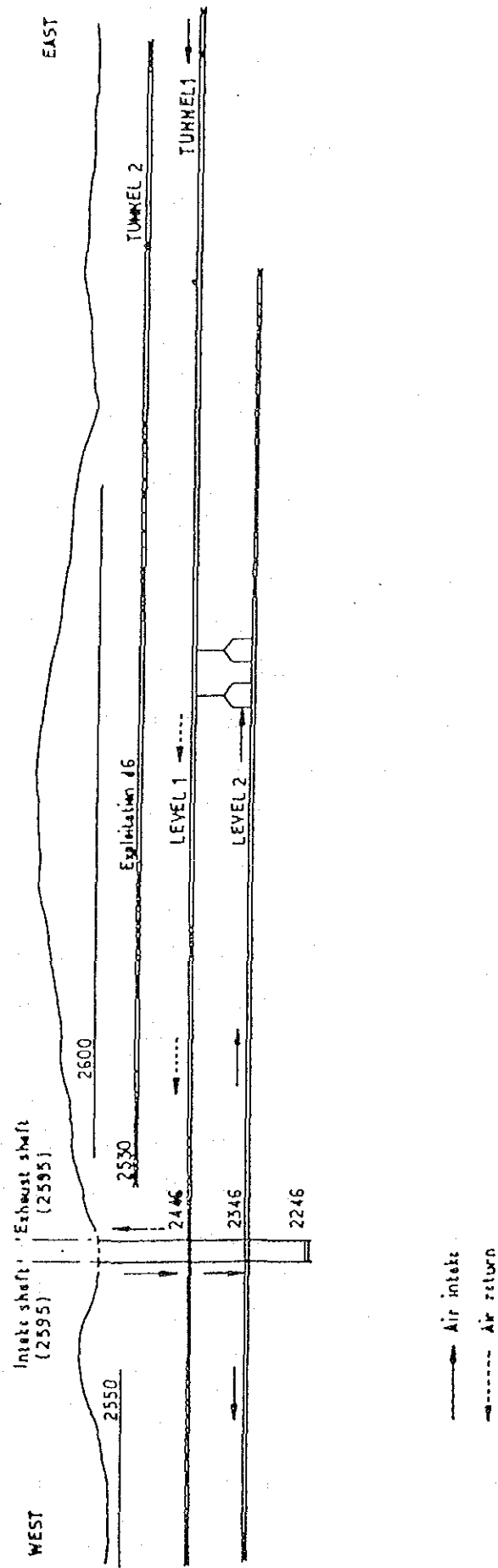
図8.4 昇向き充填採炭法

Scale = 1/500



(出所) JICA研修生報告書

図 8.5 Babnizu炭鉱の通気系統



(出所) JICA 研修生報告書

(4) 機械化状況

イランの炭田地区は地質的に構造運動の影響を強く受けているところが多く、ほとんどの炭鉱が中傾斜及び急傾斜採掘を余儀なくされている。そのため、採掘方法においては機械化の導入が困難であり、切羽での石炭採掘は圧気式のピックに頼っているのが現状である。

(5) 生産能率

生産能率は、機械化の導入が困難なことなどから他の坑内掘りの石炭生産国と比較すると低い値になっており、イランでも一番出炭量の多い Pabedana Area の HASHONI Mine でも 1.7 t/man-shift となっている。この炭鉱はロングウォール採掘で、採掘方法上でも生産性が高いと思われるが、日本の中傾斜の坑内掘りと比較しても3分の1程度の能率である。

(6) 石炭生産の推移と現状

イランの石炭生産は、NISCOが所有する国営の石炭会社と、わずかの民間会社とに分けられる。以下に1981年からの石炭生産の推移を示す。

イランの石炭生産量

年	(単位：トン)		
	国営会社合計	民間会社合計	イラン合計
1981	NA	NA	1,100,000
1982	NA	NA	1,123,213
1983	1,011,468	14,956	1,026,444
1984	1,094,729	146,946	1,241,675
1985	1,177,663	174,155	1,351,818
1986	1,068,447	314,990	1,383,437
1987	1,170,668	347,944	1,518,612
1988	1,280,427	344,787	1,625,214
1989	1,352,062	105,344	1,457,406
1990	1,355,000	NA	
1991	1,385,000	NA	
1992	1,321,000	NA	

(出所) Ministry of Mine and Metals

(7) 石炭輸送

石炭の輸送は、イランの炭田位置が山岳部にあるため、その輸送距離が長距離になることが余儀なくされており、石炭は10~27トントラックによって山元から近くの鉄道まで運ばれ、その後、鉄道貨車に積み替えられ、最終的には平均約 750km離れた消費地まで運ばれている。しかしながら、このような小さなトラックや鉄道による石炭輸送は、コストを高いものになっている。

輸入石炭は、Bandar Abbasの簡易港湾施設のストックパイルに荷卸しされ、ストックパイルからは、約 310km離れたSirjanの鉄道までトラック輸送されるために、3 m³のショベルを用いた27トントラックに積み込まれる。このシステムのオペレーションコストは非常に高くなっている。しかし、現在Bandar Abbas-Sirjan間に鉄道を敷設中で、これが完成することによって、コストはかなり低下するであろう。図8.6は現在の鉄道網を示している。

8.3.2 タバス地域

(1) 概 要

中央砂漠にある小さな町の名前が語源となっているタブスは、イランの新しく発見された炭田地帯である。炭層の区域は、Kavir砂漠の乾燥地帯の4万5千km²のほとんどをカバーしている。

当初、地方の小さな探鉱によって採掘されてきたタブス炭田は、1977年以来、TABAS COAL EXPLORATION AND MINING COMPLEXによって詳細に探査されてきた。

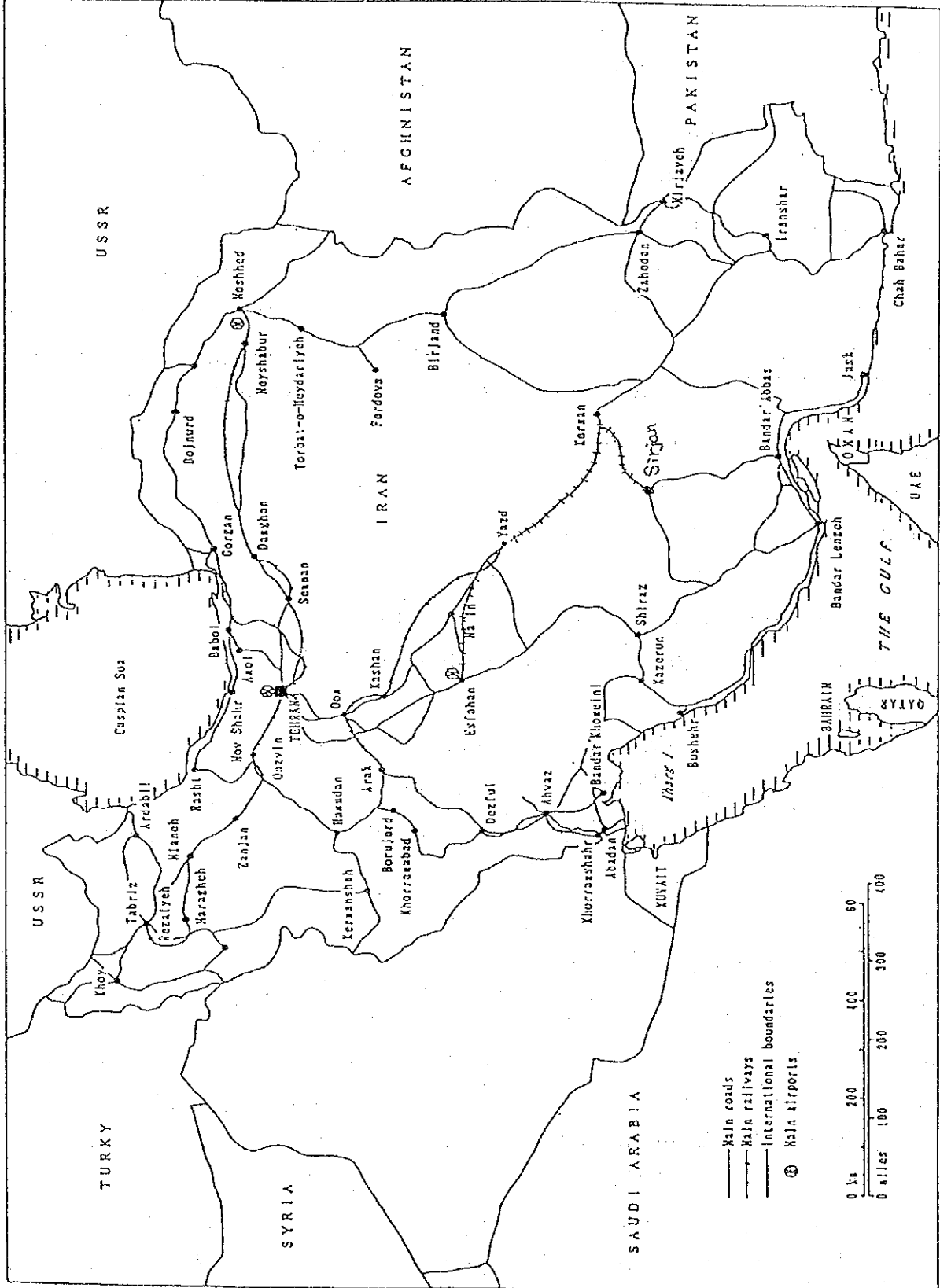
タブス炭田は、タブスの南と西に位置しており、東のナイバンド (Nayband)と西のカルマルド (Kalmar)のそれぞれの断層の間ある。その広さはおよそ30,000km²におよんでいる。調査は主にヘリコプター測量と40~50kmの距離にわたって、300~500mの間隔で露頭を掘り下げるトレンチ探鉱を中心として行われてきた。

地質構造上から、この炭田は、パルバデ (Parvadeh)、ナイバンド (Nayband)、マズィノ (Mazino)の3つの地区に分けられている(図8.7参照)。調査の結果、ナイバンドとパルバデ地区はコーキング・コール、それに対してマズィノ地区はサーマル・コール(半無煙炭)である。パルバデ地区はナイバンド、マズィノと比較して高いポテンシャルがあることから、探査活動は今日まで集中的に行われており、現在、詳しい開発計画が検討されている。

マズィノとナイバンド地域は探査活動はそれほど行われていなく、埋蔵量はそれぞれ推定で、10億トンと2億5千万トンと見積もられている。特にマズィノ地域は炭質がサーマル・コールであることから、鉄鋼用原料炭の探査を目的としたNISCOの方針から外れるために現在は中止されている。

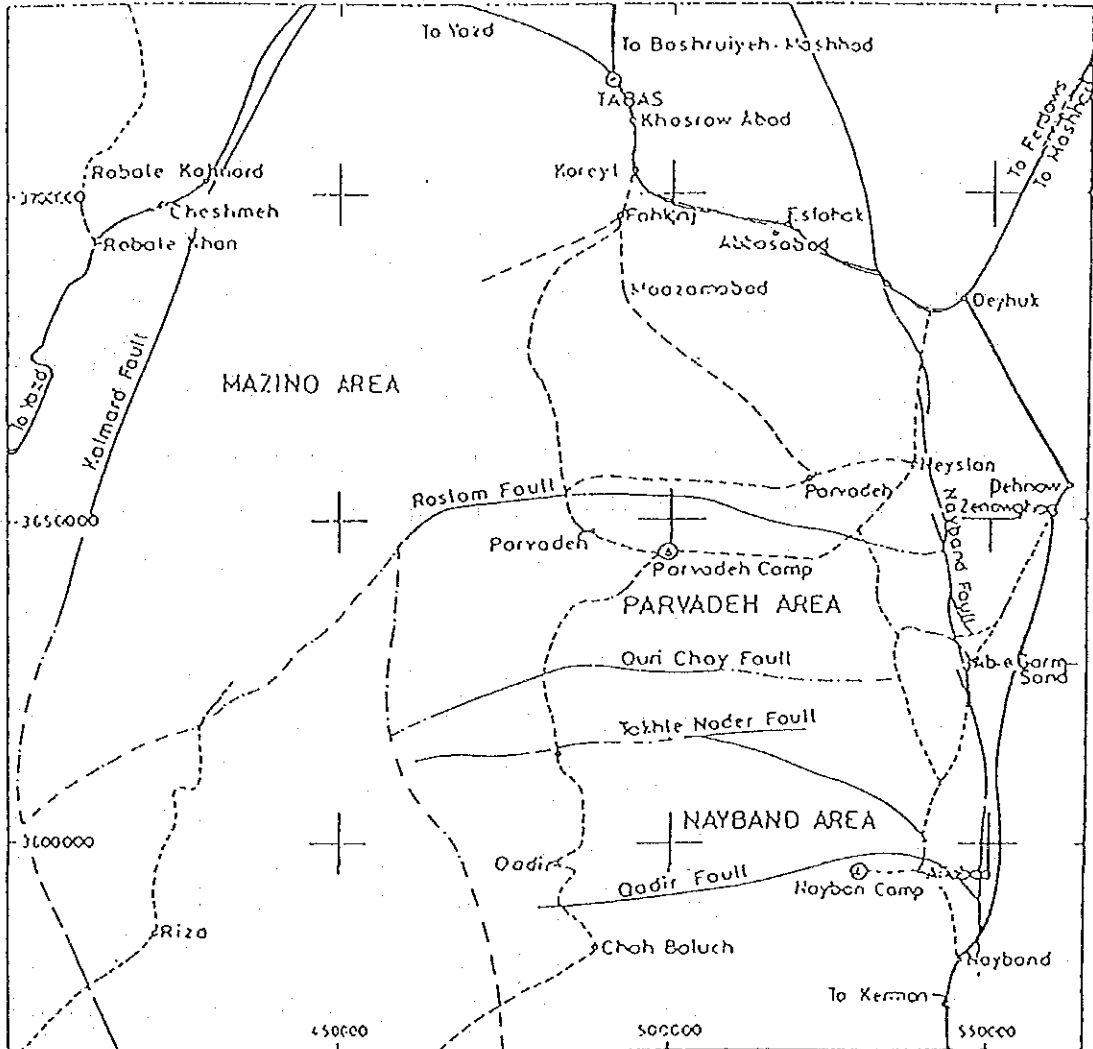
Iran

図 8.6 イランの主要鉄道網



(出所) EIU: Country Profile 1989-90

図8.7 タバス炭田



(出所) Tabas Coal Exploration & Mining Complex

しかし、このマズィノ地域では小さな私企業の炭鉱で、ヤズドとマシャッドの煉瓦工場に石炭を供給するためにトラック・アンド・ショベルによる露天掘り採掘が行われている。ここでは、夏場の需要が少ないことと、夏の気温が45℃を越えるため、作業環境の良い冬季間に集中的に採掘が行われているだけである。

この私営採鉱では、特別な探査活動は行なわれておらず、露頭炭を追いながら採掘しているため、この地域の詳しい地質構造はまだわかっていない。

(2) パルバデ・エリア

(a) 概要

タバスから約80km離れたパルバデ地域は1,200km²の広さを有し、RostamとQuri-Cha断層の間に位置している。北東から南西に向かう20~30mの比較的小さな断層が、この地域をP I、P II、P III、P IV、P Eという5つの地域に分けている(図8.8参照)。緩傾斜の石炭層、構造運動の不足、地殻構造の複雑性などが他のイランの炭田地帯とこれらの地域を区別し、特徴づけている。

ここでの採掘可能な石炭層は、B 1、B 2、C 1、C 2及びD層の5枚があり、これらの露頭は40kmにおよんでいる。地表付近では、炭層傾斜は20°~30°であるが、深くなるに従い5°~10°になっていく。

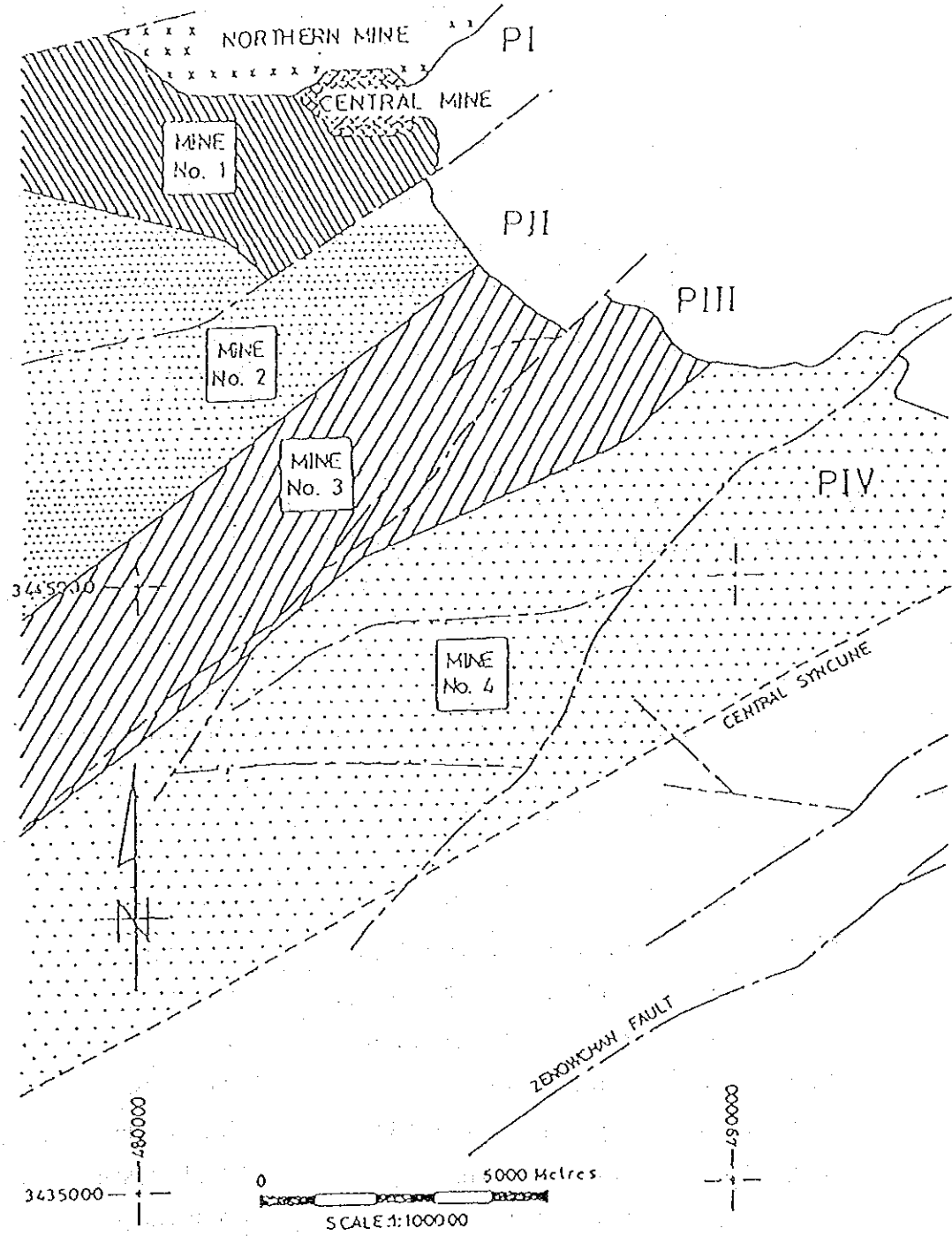
(b) テストマイン

将来の石炭採掘に備えて、さまざまな実験がテストマインで行われている。テストマインは28°の傾斜のC 1層に合わせた約500mの2本の主要斜坑からなり、その坑底付近から沿層坑道を展開している。この沿層坑道では、カナダ人技師の指導によりロックボルトによる岩盤制御技術のテストが行われており、将来坑道維持をロックボルトだけで実施していく考えである。イランでは、ケルマンとエルブルーズで石炭が生産されており、ここではロックボルトは鋼棒との併用で行われているのが現状であり、ロックボルトだけの坑道支保の試みは初めてであるため、最近、欧米諸国などで使用されている地圧計測器具(エクステンソメータ、インストルメンタルボルト等)での注意深い計測が実施されている。

(c) 採掘計画

タバス炭鉱は将来イランにおいて生産性の高いポテンシャルを持った炭鉱である。現在ケルマン、エルブルーズ地域で稼働している炭鉱は造山運動の影響を多分に受け、炭層傾斜が60°以上のところが多く、機械化採掘が困難なことから生産性が1.7t/人・方以下の小さな炭鉱が多い。

図8.8 タバス炭田パルバデ地域



(出所) Tabas Coal Exploration & Mining Complex

一方、このタバス炭鉱のパルバデ地区は、前述のとおり、地質構造も安定しており、採掘のための機械設備の導入が可能で、高い生産性が期待できる。

ここでは、カナダのADAMコンサルティング・エンジニアが炭鉱開発計画、採掘計画、人員計画、生産計画を行っている。これによると、将来、このタバス炭鉱から年間精炭で150～200万トンの石炭が生産されることになり、これは現在のイランの石炭生産量を上回ることになる（図8.9参照）。

(d) 採掘方法

計画されている採掘方法は、コンティニアスマイナーで坑道展開を行い、自走枠とダブルレンジングドラムカッターで切削するロングウォールシステムを採用することになっており、パネルの大きさは切羽面長約200m、稼行長約2,000mと比較的規模の大きなパネルを計画している。またロングウォールで採掘できない残炭部分はコンティニアスマイナーによるボード・アンド・ピラー方式で採掘する予定である（図8.10参照）。

(e) 生産計画

石炭生産計画はCentral Mine, Mine No.1, 2, 3, 4の順番で開発し、プロジェクト開始から約10年後にはほぼフル操業になる予定である。

8.3.3 諸外国からの技術及び資金協力

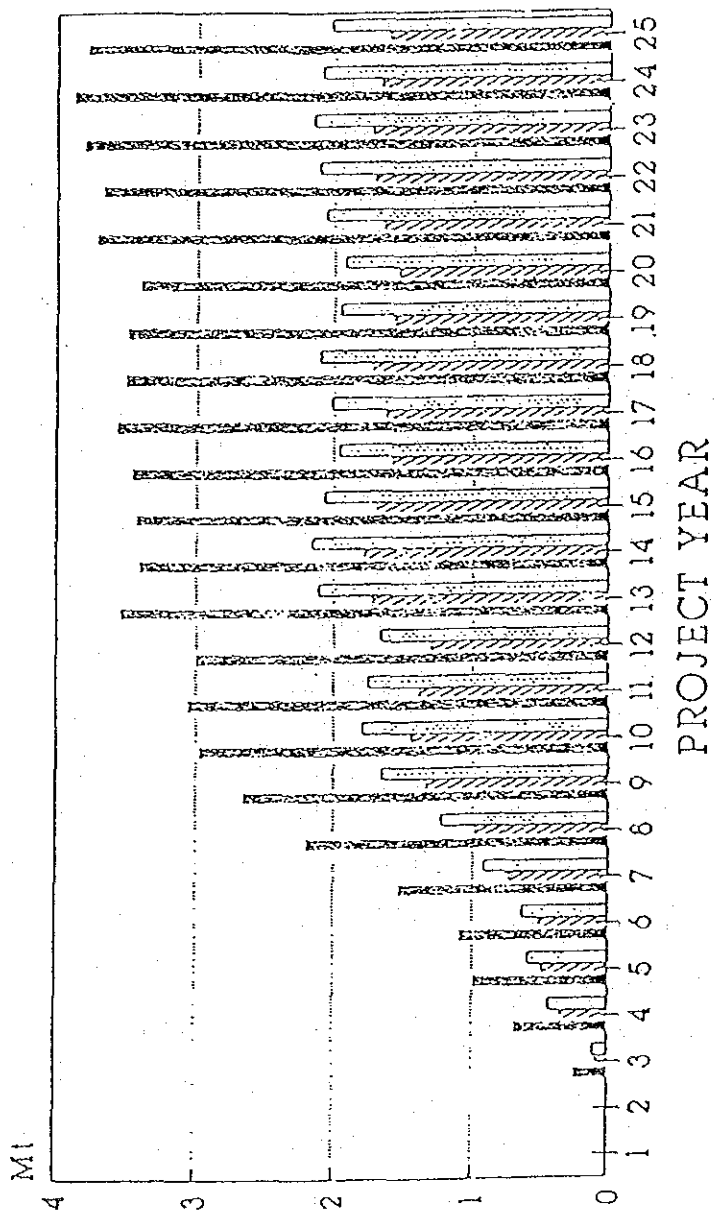
現在、NISCOは石炭生産及び品質の改善、探査計画、技術移転などのためにいくつかの国々と契約を結んでいる。

以下にその協力の内容とそれぞれの国を示す。

会社名	国名	協力内容	実施場所
MONTAN	Germany	Designing and Supervision	KHOMROD MINE
ADAM	Canada	Development and Production	TABAS AREA
CDFI	France	Pre-F/S and Mechanization	BABNIZU AREA
CDFI	France	Designing	HAMKAR MINE
BMCL	England	Development and High Production	PABEDANA AREA
BMCL	England	High Production	CENTRAL ALBORZ
BMCL	England	Mechanization	KARSANG MINE
AMCL	Canada	Coal washery	ZARAND

（出所）JICA研修生報告書より

TABAS MINE PROJECT
TOTAL MINE OUTPUT SCHEDULE



RAW COAL
 CLEAN COAL 10.5% ASH
 CLEAN COAL 14.0% ASH

図 8.9 タバス炭鉱生産計画

(出所) Tabas Coal Exploration & Mining Complex

TABAS COAL MINE PROJECT ADAM CONSULTING ENGINEERS	
TABAS MINE PROJECT TOTAL MINE OUTPUT SCHEDULE	
MTD PROJECT START DATE	SCALE: 100%
MTD PROJECT END DATE	PROJECT:
FIGURE 3	

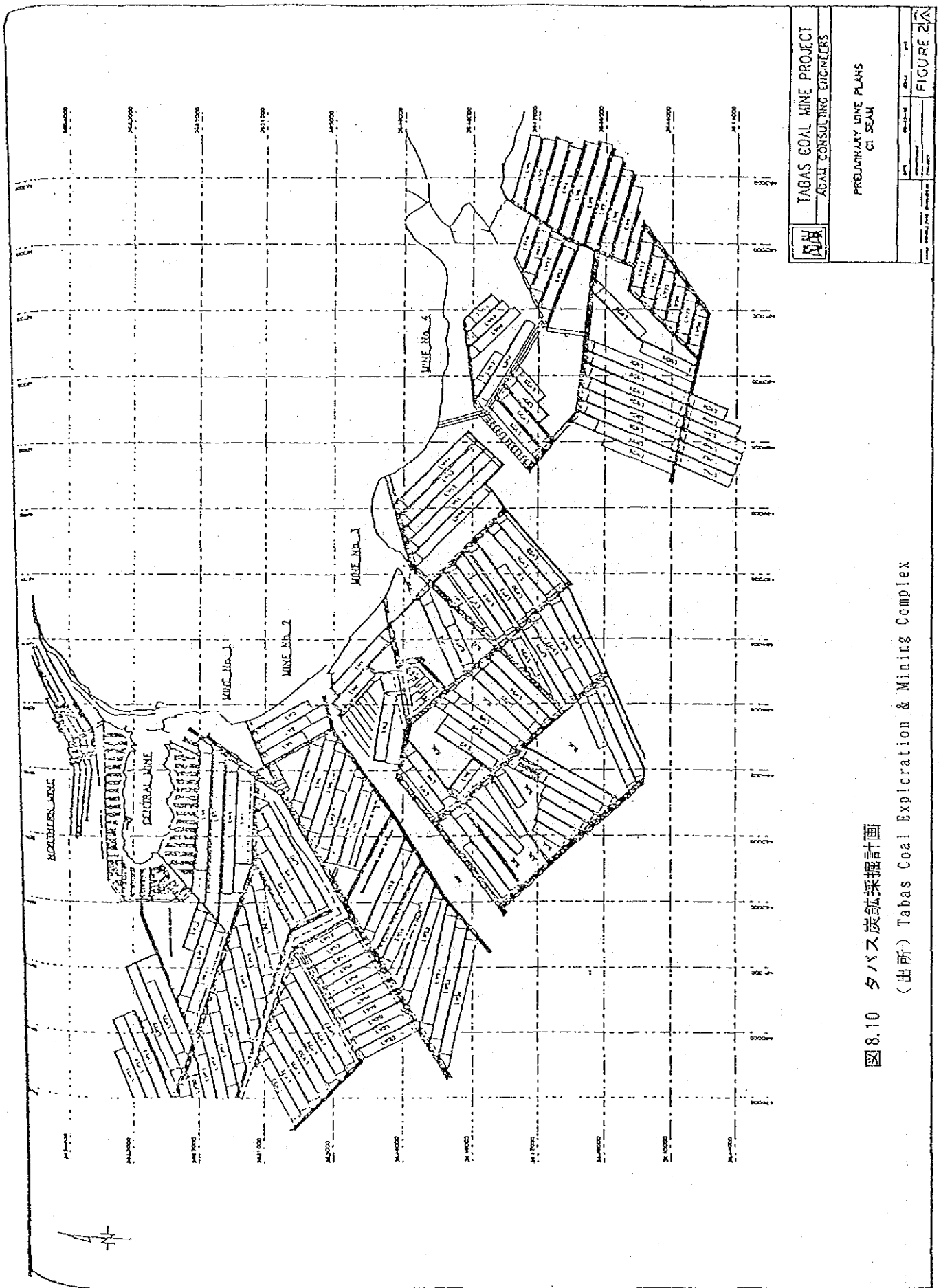


図8.10 タバス炭鉱採掘計画

(出所) Tabas Coal Exploration & Mining Complex

8.4 供給システムの評価

8.4.1 既存炭鉱

イランの炭鉱は、地質構造上、機械化の導入が困難なことから、石炭採掘は発破と圧気式のピックによる手掘りが行われている。このためイランには年産10万トン未満の小さな炭鉱が数多くある。このことは、採掘コストと内陸輸送費をつり上げている原因となっている。生産能率や輸送の効率化を図るためにも、日本が行ってきたような生産の集約と近代化を検討する必要があるであろう。

また、イランの炭鉱では、坑内作業員と坑外作業員の給料が同じであることから、坑内作業員の勤労意欲が低下しているとも考えられ、給料形態の改善の検討も必要と思われる。

8.4.2 タバス地域

このタバス地域は、埋蔵量、地質条件、石炭品質などから評価しても、近い将来、石炭生産の中心になると思われる。特に地質構造については、イランの他の生産地と比べ、機械化の導入が可能で、大量出炭の期待をもたれている。しかしながらインフラはまだ整っておらず、約400km離れたヤズドまでの鉄道建設が必要である。しかし実際には、タバスとヤズドのほぼ中間にチャドマル鉄鉱山が開発中であり、4年後の生産に向けて鉄道が布設中であることから、タバス炭鉱はこのチャドマル鉄鉱山までの鉄道を布設すれば良いことになる。

タバスからの石炭は、近くにあるチョガルト鉄鉱山からの鉄鉱石とともにイスファハンへ輸送され、原料炭として消費される計画になっている。

現在、イランの炭鉱から採掘される石炭は、それぞれの生産地に選炭設備がないことから、一度近くの選炭工場に集められ、選炭後イスファハンへ送られるシステムになっている。しかし、このタバス炭鉱は規模が大きいことから、選炭設備の建設が予定されていること、まとまった量の石炭を貨車輸送できることなどから、他の炭鉱よりインフラのコストは低く抑えられるであろう。

採掘コストについても、彼らの人員及び生産計画から推定すると、現状のイランの生産能率の3倍を見込んでいることから、かなり低く抑えられるであろう。しかし、この計画は少し控えめな数字であり、上下盤の条件によってはもう少し高い能率が期待できると思われる。

8.5 プロジェクト・アイデア

このタバス地域には、前述したようにマズィノ地区に約10億トンの埋蔵量と推定される半無煙炭が存在している。しかしながら、鉄鋼用石炭の調査を目的としているNISCOは、この地区の探査活動はほとんど行っていない。現在では、小さなプライベートの炭鉱が煉瓦工場用に露天掘り採掘を行っているが、その生産量は僅かである。

マズィノ地区全体の詳細は不明だが、トレンチ探鉱及び現在採掘されている露天採掘場などから推定すると、地質構造は比較的安定しており、また、比較的地表に近いところの石炭層の存在が期待され、層厚も場所によっては5mを越えるところも確認されている。

タバスは、コラッサン州の州都であるマシャッドと、ヤズド州の州都であるヤズドのほぼ中間に位置した、人口4万人に満たない砂漠の中にある小さな町で、マシャッド及びヤズドからは、おおよそ400km離れており、その間には大きな都市や産業はないようである。

このタバス地域の電力を賄う山元火力発電の可能性を検討することも必要になるかもしれない。ここで周囲（半径約150km）の人口統計などから、以下のようなことが想定される；

- 人 口 : 約20万人（推定）
- 世 帯 数 : 約3万世帯（推定）
- 必要電力量 : 2 kW/世帯
- 電力需要量 : $P = 2 \times 30000 / 1.4 = 42,857 \text{ kW}$

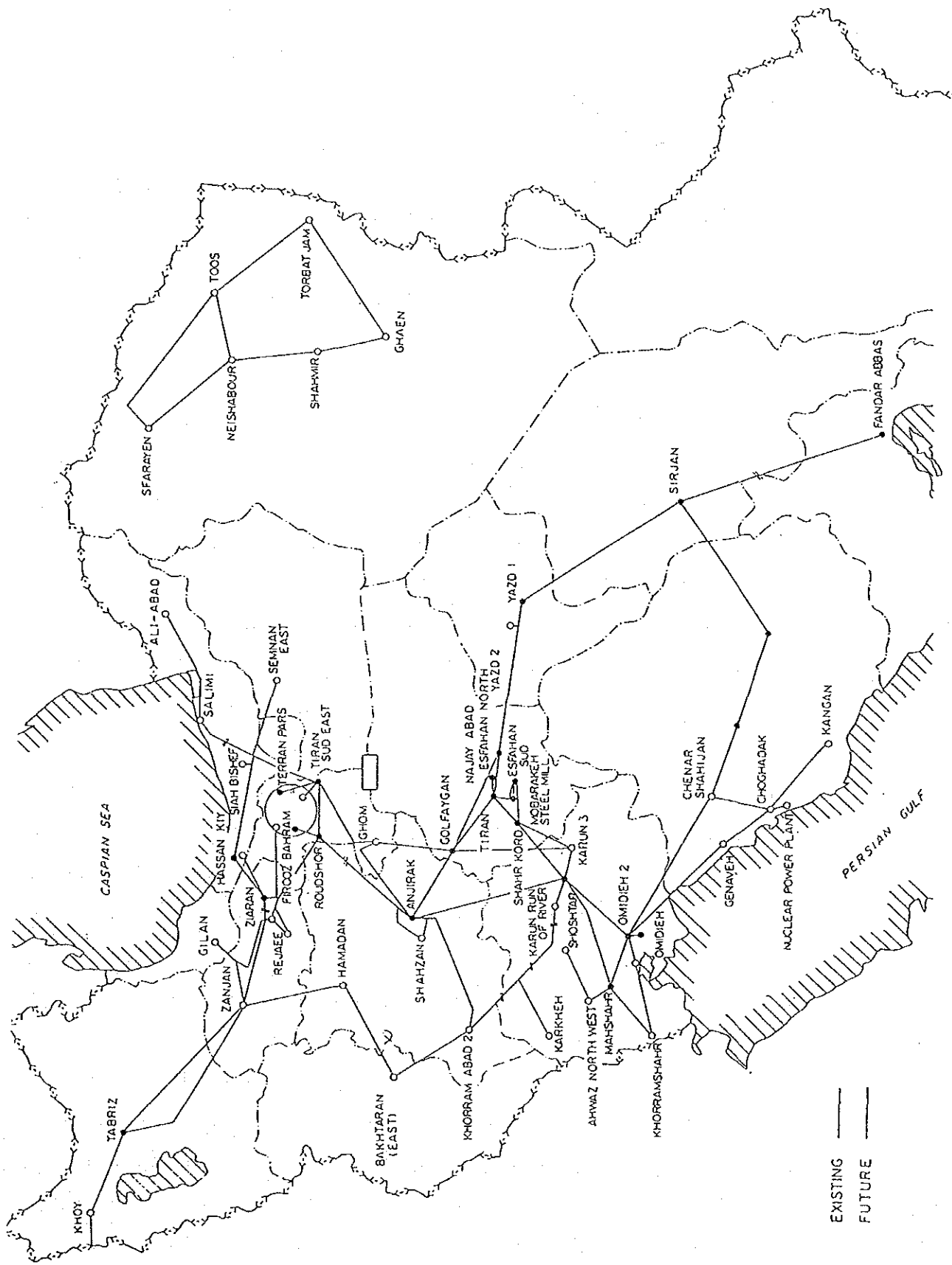
これらから、求められる発電所の規模は約5万kWで、年間の石炭消費量は約10万トンということになる。

現在この地域ではディーゼル発電で電力需要を賄っている。

しかしながら、このような小規模の山元火力発電所のための炭鉱開発、発電所建設、送電線の布設等は経済的には不利なものと考えられ、むしろ次のような提案が望ましいと思われる。

現在イランの主要な400kVの送電線網は図8.11に示すように東と西に分かれ連系していない状態であるが、将来イラン国内の電力需要の増大に伴い送電線網の連系が必要になった場合、マシャッドとヤズド間の主要送電線が必要になり、中間地点であるタバスに100万kW前後の発電所を建設し、燃料をこの地域で産出される石炭で賄うことも可能であろう。

しかし、現状ではマズィノ地区の石炭品質、埋蔵量、地下水等の調査は、まだ不十分であるため、上記提案の検討には今後の詳細な調査が必要であろう。



Source: 1991 Electric Power in Iran

図 8.11 イランの主要送電線

(出所) 1991 Electric Power in Iran

<参考資料>

- (1) EIU Country Profile 1989-90
- (2) 地質調査所月報 (第23巻第11号)
- (3) 井上英二『世界石炭資源資料』
- (4) イラン・エネルギー省年報 (1991)
- (5) イラン鉱山・金属省資料
- (6) J I C A 研究生報告書

9. 新エネルギー

イランは世界でも有数の産油国であり、国の財源のほとんど全てを石油に頼っているのが現状である。1992年末現在、イランの原油確認可採埋蔵量の総計は約 930億バレルと見積もられており、現状の生産規模を維持するとしたら、74年分に相当する。また、イランは天然ガス埋蔵量が多いことでも知られており、その確認可採量は約20兆 m^3 と、ロシア共和国に次いで世界第2位で、300年以上のP/R比を有している。

しかしながら、この豊富な資源埋蔵量の下で、国内エネルギー価格は政策的に低く抑えられ、エネルギー源の過剰消費をもたらすことになってしまった。これからの世界的なエネルギー需要の増大を考えたとき、不必要に余分な資源を消費することは無意味なことであり、また、国の大切な財源を浪費していることになる。本エネルギー計画調査では、省エネルギーの考え方をイラン側に提案し、エネルギー原単位を低く抑えることにより、エネルギーの浪費をできるだけ少なくしようと考えている。同時に、今後の世界のエネルギー情勢を考えると、化石燃料が将来、今ほど簡単に入手できるものではなくなることが考えられ、その時のためにイランにおいても、今からエネルギーの節約と多様化のために新エネルギーの開発可能性を検討していくことが重要である。

9.1 資源評価

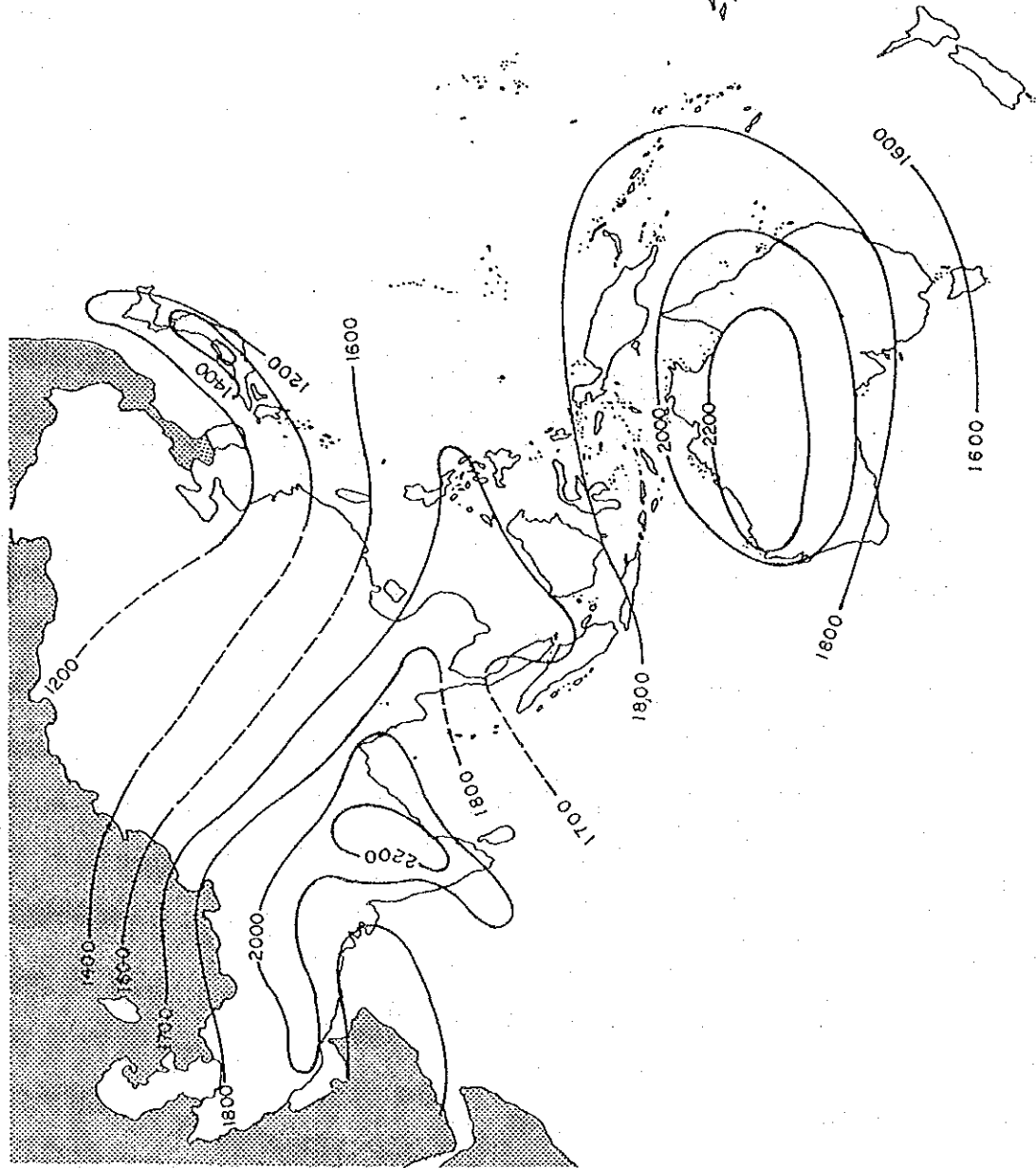
9.1.1 太陽エネルギーのポテンシャル

地球上の生命活動は太陽エネルギーにより維持されている。単位時間当たり太陽の表面から放射されているエネルギーは電力に換算すると 3.8×10^{23} kW程度と推定される。地球の大気圏外でのエネルギー密度は約 $1.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ でこれを太陽定数と呼んでいる。これに地球の断面積を掛けると、地球に達する総太陽エネルギーが求められ、 1.77×10^{14} kWとなる。この総エネルギーのうち約30%は直接反射され、残りの70%を地球は受け取る。この70%でも、1時間値に換算すると、 1.075×10^{17} kcalで、これは世界の1990年のエネルギー総需要 8.03×10^{16} kcalより約35%も多いことになる。

アジア-太平洋地域を対象にした日射量の分布図を図9.1から図9.5に示す。図9.1は年平均全天日射量の平年値で、図9.2以降は1, 4, 7, 10月それぞれの月平均全天日射量である。

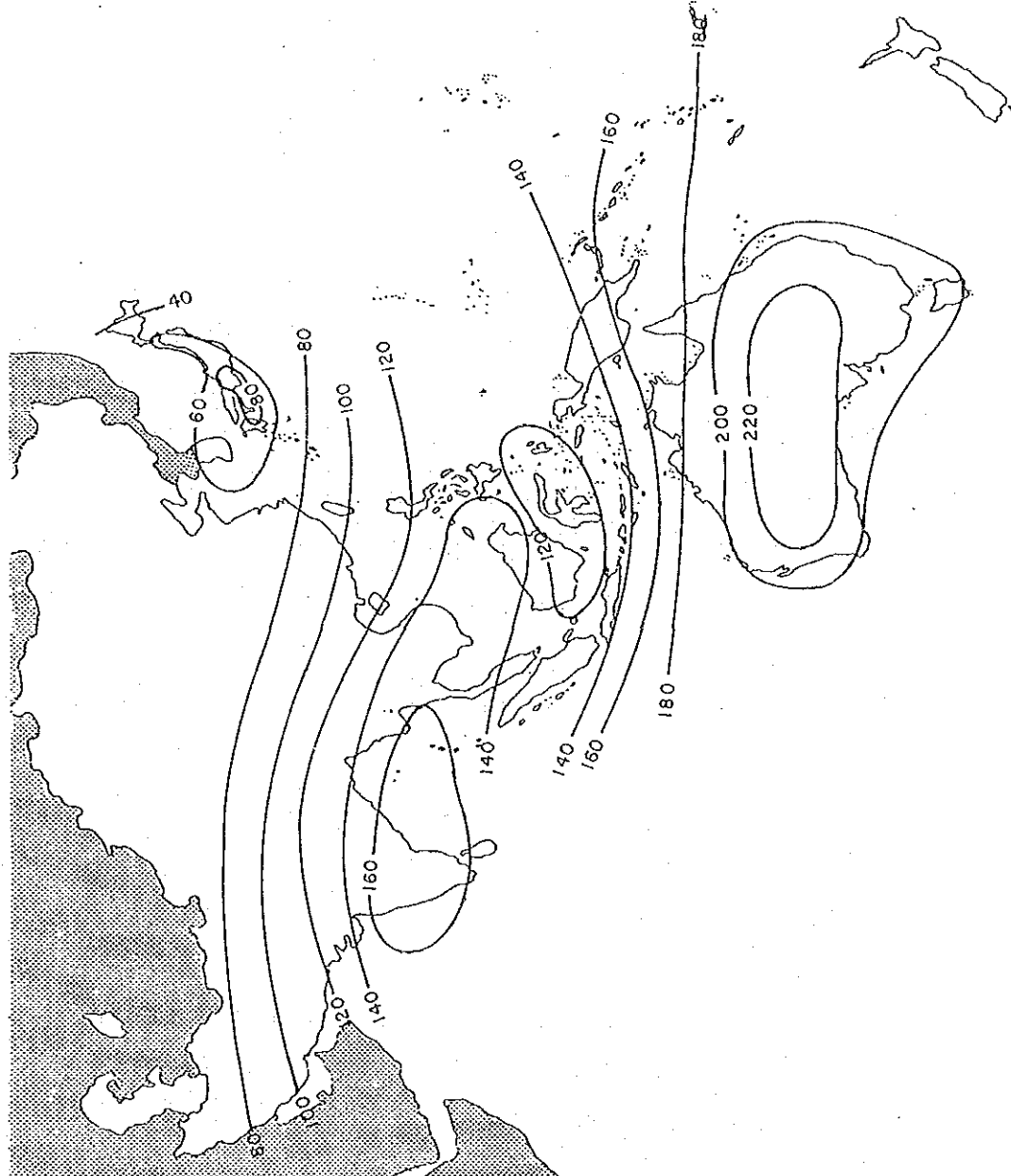
図9.1から、イランの年平均全天日射量は、中央部の主に砂漠地帯では年間2000kWh/ m^2 ($5.48 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{day}$)以上で、その他の地域では年間1,800~2,000kWh/ m^2 である。これは日本より50%以上も高く、イランの他には、中近東地域はもちろん、アフリカ大陸の大部分、インド、ビルマ南部、タイ南部、オーストラリア、米国西部、南米の太平洋側諸国がイランのような太陽エネルギー資源大国といえる。

图9.1 ESCAP地区的全天日射量(年平均)(kWh/m²/year)



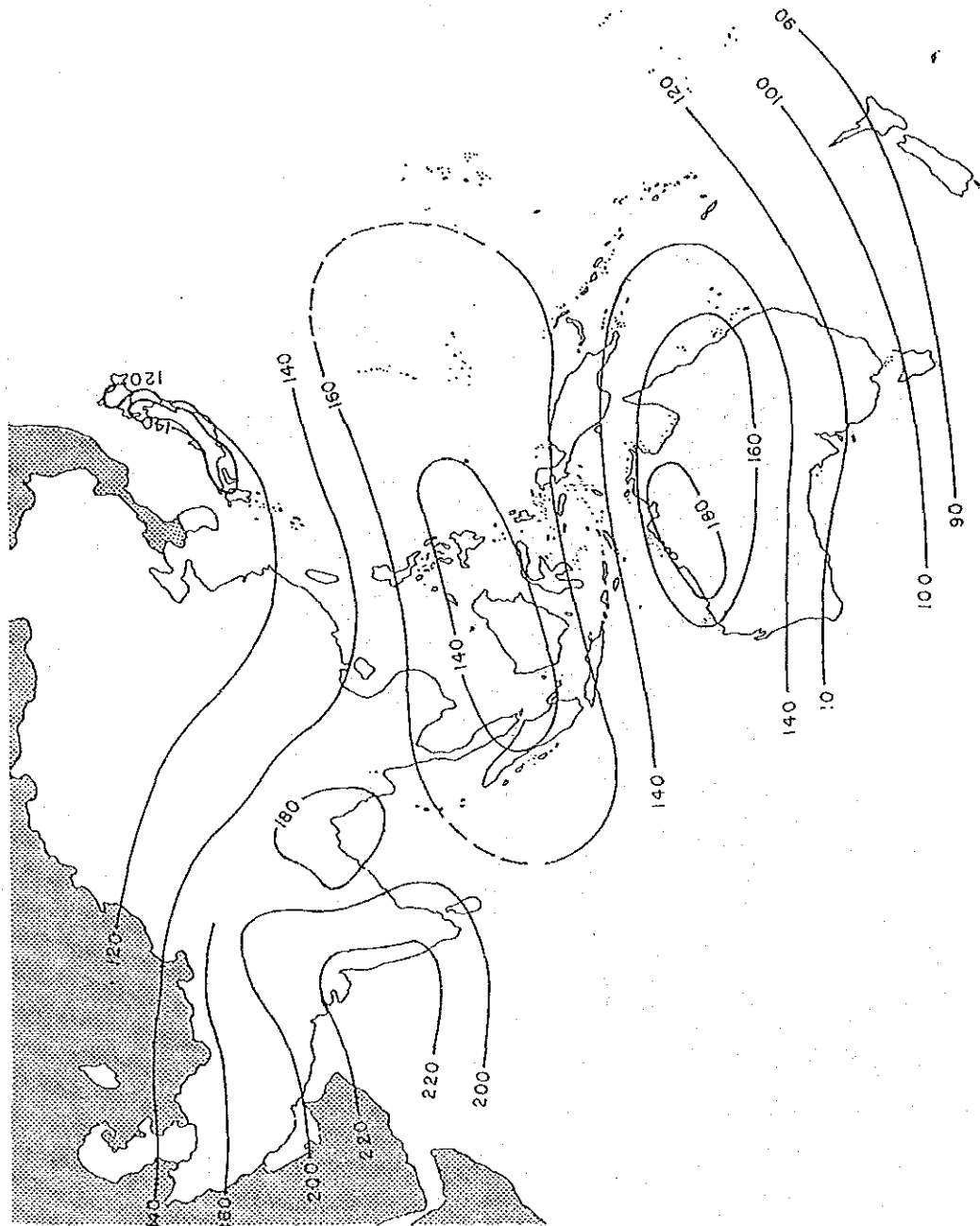
(出所) Renewable Sources of Energy, Volume I Solar Energy

図9.2 ESCAP地域の全天射量(1日)(kWh/m²/month)



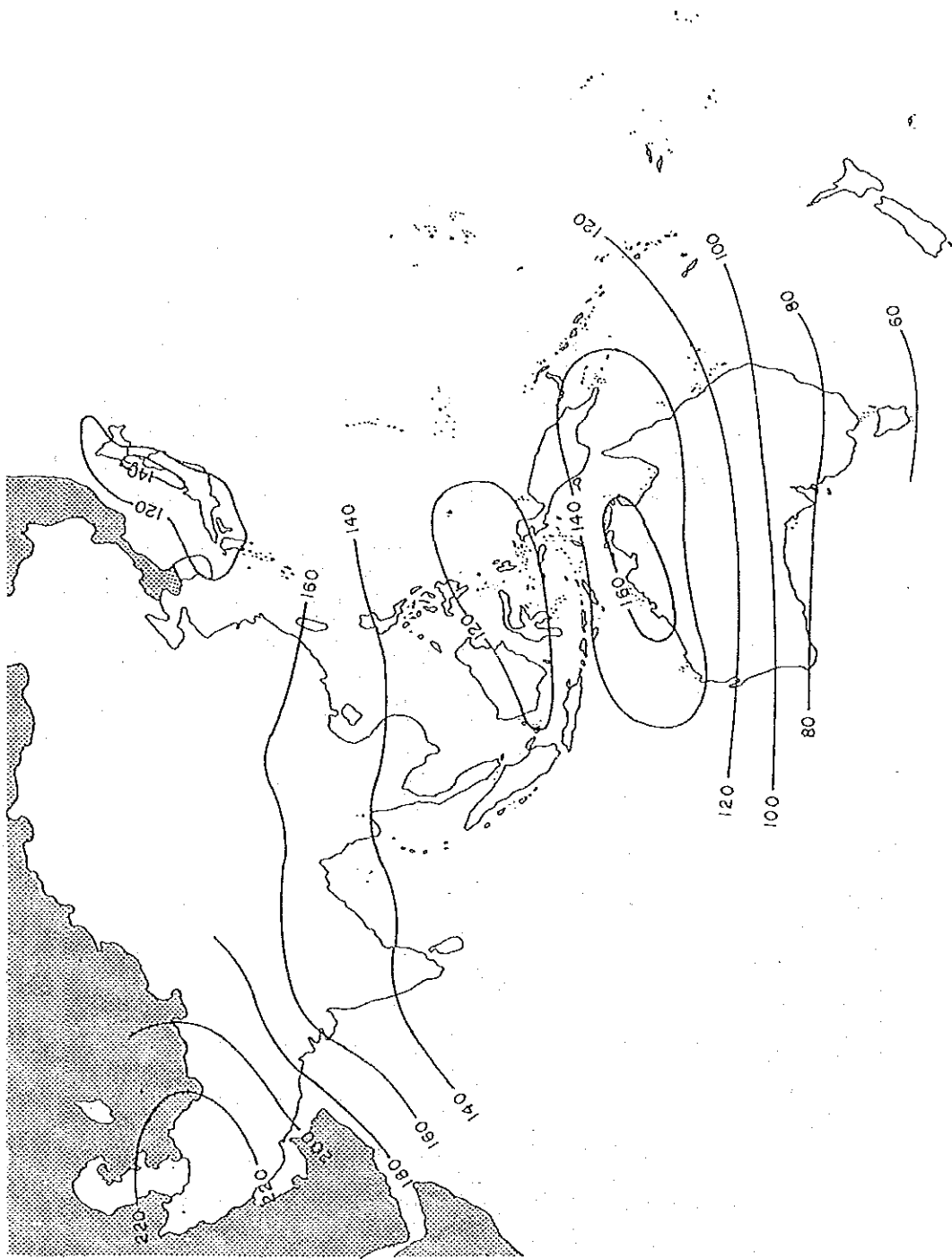
(出所) Renewable Sources of Energy, Volume I Solar Energy

図9.3 ESCAP地域の全天日射量(4月)(kWh/m²/month)



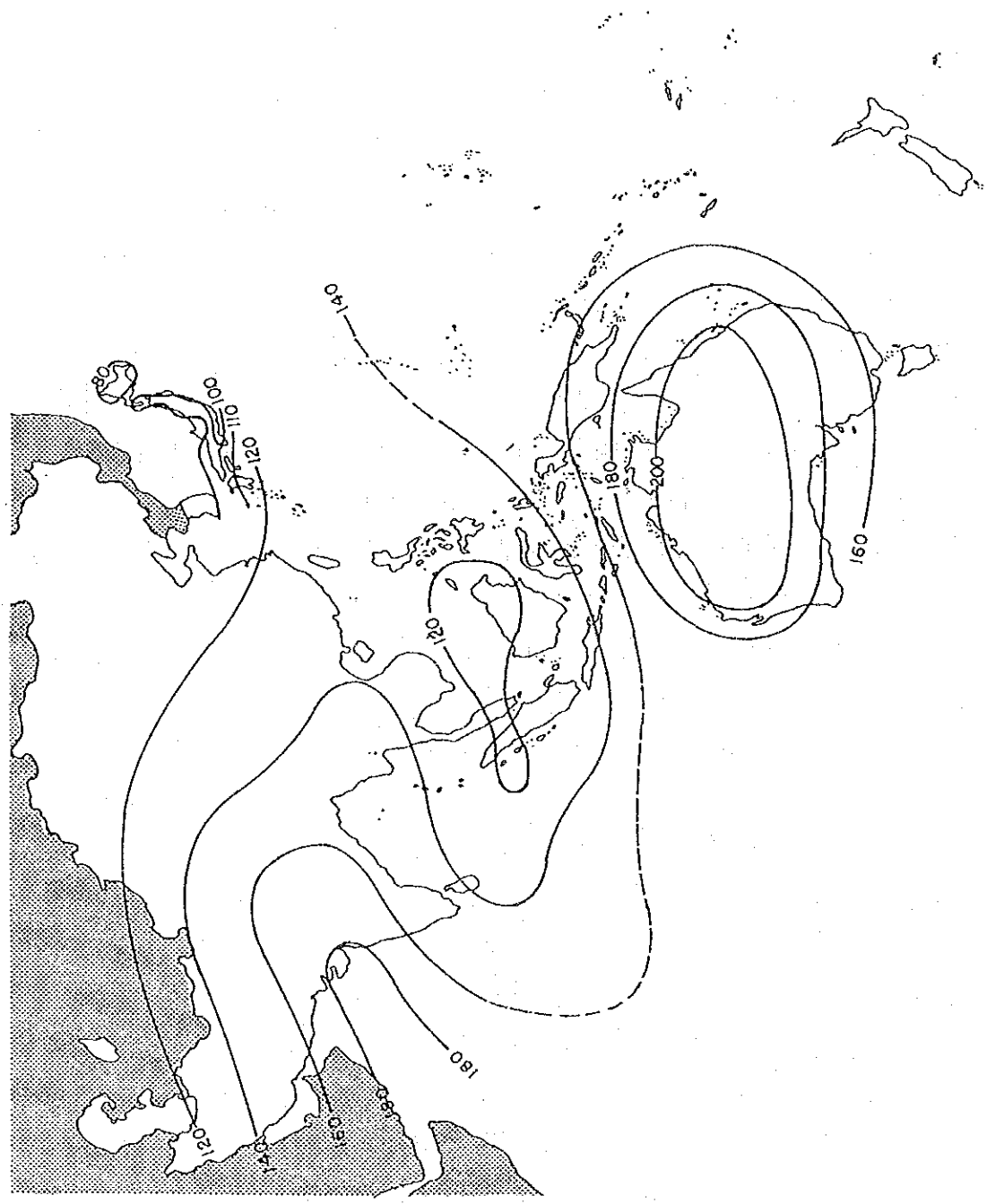
(出所) Renewable Sources of Energy, Volume I Solar Energy

図9.4 ESCAP地域の全天日射量(7月)(kWh/m²/month)



(出所) Renewable Sources of Energy, Volume I Solar Energy

图 9.5 ESCAP 地域の全日射量 (10月)(kWh/m²/month)



(出所) Renewable Sources of Energy, Volume I Solar Energy

季節別にみると、夏が一番高く、イラン全域で月間 $200\text{kWh}/\text{m}^2$ ($6.67\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$) 以上となっている。

9.1.2 風力エネルギーのポテンシャル

風力エネルギーは各国のエネルギーミックスにおいて重要な役割を果たすと考えられている。おおよそ $10^6\sim 10^7\text{MW}$ の利用できる電力が、地球上の風から得られると見積もられている。この膨大なポテンシャルは地球上の水力のポテンシャルと比較されており、ある予測においては、風力のポテンシャルは水力の10～20倍とも言われている。

風力エネルギーは再生可能なエネルギーであり、且つ、環境に優しいエネルギーである。また、あらゆるところに分布しており、それ故、村落や僻地などの動力の基盤として利用することができる。

発展途上国における風力利用は、主に水の管理や農業用として使用されている。農業用の揚水は多毛作を通じて村落開発に貢献しているもっとも重要な利用方法である。風力発電システムは独自の電力源として利用される他に、発電所からの電力供給増大の目的としても利用されている。風力はそのほかに、バッテリー充電、通信ネットワークなどにも使用されている。

風力ポテンシャルを推測するための方法は、国土全体をカバーする主な地域において、まわりに障害物がない状態での長期にわたる風速記録を得ることである。以下のようなデータによって風力ポテンシャルが推定される；

- 1) 全土の年間平均風速の分布状況。
- 2) 日、月、年別の風速状況の分布。
- 3) 年間の無風期間及び最高風速期間の分布。
- 4) 揚水ポンプ及び風力発電のための各地域での風力ポテンシャル。

データを利用する前に、データを収集した場所を見ることが望ましい。以下に必要なチェックされるべく事項を記述する；

- 1) 地上からの高さ及び海面からの高さ。
- 2) 建物や木などのまわりの障害物の高さや距離。
- 3) 風速計の型式及びメンテナンスの状態。
- 4) 風速計の読みとり方法：1 mからの読みとり、平均風速の記述、グラフの記録。
- 5) 電力不足の取扱い手段。

6) 気象データがノット, マイル/時, km/時, m/秒であること。

風速は高さによって増大するため, 風速計の高さが重要である。

(1) 理論風力

風力計算では風力は風速の3乗で増大していく。その結果は, 1時間あたりの平均風速Vのほうに一定の風速Vの時よりエネルギーが多くなることになる。それは瞬間的なVより大きい風速の3乗がVの3乗より大きいからである。この割合はエネルギー型係数 k_E と言われており, 風のタイプにより決められており, 不規則な風は高い k_E 値であり, 貿易風の地域では1に近い k_E 値である。

理論風力は一般に W/m^2 で表されており以下の公式から成り立っている:

$$k_E \times 1/2 \rho \times V^3 \quad W/m^2$$

ρ : 空気密度

(1.2kg/m³, 20°C, sea level)

(2) 実風力の推定

風車の出力特性が与えられているなら, 電気エネルギー上の実出力あるいは揚水能力が計算できる。

一般に, 風車がつかむ風のエネルギーは, 風車の受風面積に比例し, 風速の3乗に比例する。しかし, 風の持つエネルギーが全部風車の回転力に変換されるのではなく, 最大でも59.3%にすぎないことが証明されている。

しかし, 風力発電を行う場合, 風車で空気力学的な損失の他に, ベアリングや増速機での損失, さらに発電機の損失などが差し引かれることになる。従って, 風力発電では風の持っているエネルギーを100%とすると, 実際に得られる電気エネルギーは30%程度になってしまうわけである。

(3) イランの風力ポテンシャル

43地区で測定された平均風速の月間記録をもとにしたイランの風力ポテンシャルの調査では, 国土の東半分地域で, 150から200W/m²の理論風力があることが示されている。これらの風力密度は, 国土の単位面積あたり1.5~2×10⁶kWh/km²の実際のエネルギー出力が得られると見積もられ, Kerman, Seistan, Baluchistan各州の25万km²の約2%を使用すると, 風力タービンで年間約10×10⁹kWhの電気が発電されることになる。これは1990年のイランの電力総量の約20%に匹敵する。

資料はかなり古いですが、1923年から1930年の8年間に観測されたイランの風況調査の結果を表9.1に示す。これによるとSeistan (Zabol) の6月から9月までが比較的 average 風速の大きいところで、その他の地域のほとんどが4 m/s以下のところである。一般に風力発電の運転条件として、カットイン風速が4 m/s以上であって、4 m/s以下の地点では非常に難しい。すなわち、風力エネルギーの可能性を詳しく調査するためには、風力発電システム導入のための有望市場調査のより詳しいデータが必要となってくる。

9.1.3 地熱エネルギーのポテンシャル

現在われわれが主に使用している化石燃料や太陽光、風力、水力、バイオマスなどの新エネルギーの源は太陽からのエネルギーであることがいえる。しかしながら地熱エネルギーは太陽エネルギーとは無関係なエネルギーで、地球誕生以来、地球の内部で生成され蓄積された熱エネルギーである。この地球内部のエネルギーは地表に流れ出す以外にも、いろいろな仕事をしている。大陸移動、造山運動、地震がそうである。これらのエネルギーを大まかに見積もると、熱伝導によるものが1年に 10^{21} ジュール、大陸移動のエネルギーが 2.5×10^{20} ジュール、造山運動のエネルギーが 2×10^{19} ジュール、地震のエネルギーが 2×10^{17} ジュールといわれている。

地熱エネルギーは地下から得られる水蒸気や熱水を利用するものであるが、他の化石燃料と比べると、非常に小さなエネルギーであるとともに、貯蔵できないという欠点も持っている。それ故、地熱資源をエネルギー源として利用するためには、生産地ですぐに消費しなくてはならないので、利用する場所は当然限定されることになる。しかしながら、水力や風力、太陽エネルギーと違い、天候などに大きく左右されることがなく、安定して地下から取り出すことができるエネルギーでもある。

地熱資源が存在するためには一般に以下のような条件が必要である。

- 1) 十分に高温であること
- 2) 流体を貯留できるような比較的空隙の多い地質構造であること

前者の条件は、地下の深いところで満たされるが、後者は深度が深くなるにつれて地圧が高くなるため、空隙は保たれなくなるのが一般的であろう。

イランにおける地熱エネルギーの賦存状況は図9.6に示すように4つの地域に分けられ、北西部のMaku-Khoy地域、ここから南西に位置するSabalonとSahand地域の2つの火山、首都テヘランの北西に位置するイラン最高峰のDamavand地域である。

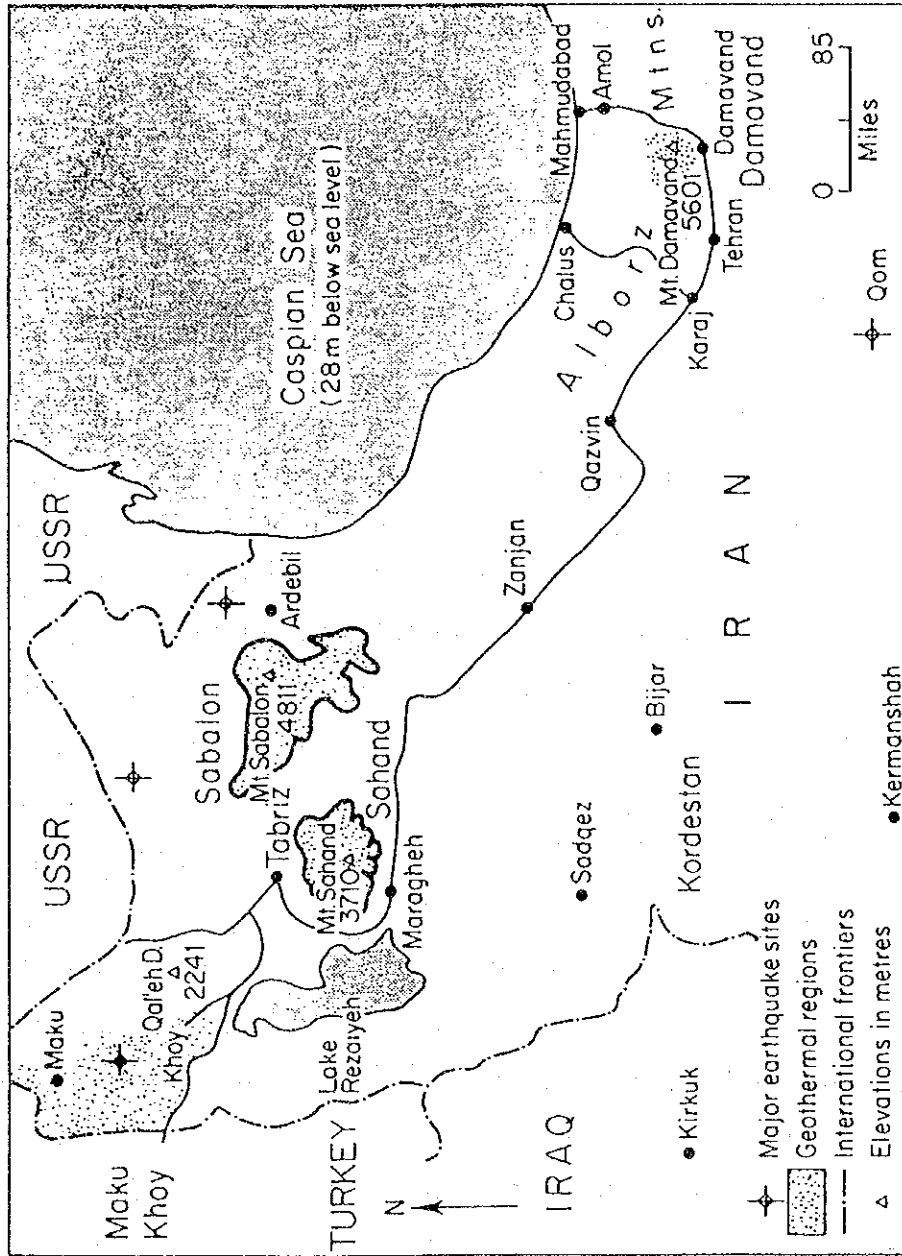
1978年には、Damavand地域において、50MWの地熱発電所建設プロジェクトが行われた。このプロジェクトはイランのエネルギー省と1976年にこの地域の事前調査を行ったイタリアの電力会社ENELとによって展開されたものだった。この調査結果の詳細は公表されていないが、

表9.1 イランの風況観測データ

Station	Location	Height above sea level (m)	Height anemo- meter (m)	Average wind speed in m/s												Years of observation		
				Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		Year	
Tehran	35° 41'N, 51° 19'E	1191		0.9	1.2	1.3	1.4	1.3	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.1	
Isfahan	32° 54'N, 51° 44'E	1773		0.8	1.2	1.6	1.6	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.9	
Seistan (Zabol)	31° 00'N, 61° 30'E	610		1.8	2.2	2.3	3.1	3.7	4.7	6.1	6.1	6.1	5.3	2.9	2.4	1.9	3.5	1923-1930
Zahidan	29° 30'N, 60° 53'E	1438		3.3	3.8	3.6	3.1	3.1	3.6	3.8	3.5	3.5	2.9	2.6	2.5	2.7	3.1	
Bushire	28° 59'N, 50° 49'E	4		3.3	3.5	3.7	3.3	3.6	4.0	3.1	2.7	2.6	2.2	2.2	2.7	2.9	3.1	
Jask	25° 45'N, 57° 45'E	4		3.6	4.0	3.9	3.7	3.7	3.9	4.3	4.3	4.2	3.6	3.1	2.9	3.3	3.7	

(出所) Renewable Sources of Energy

図9.6 イランの地熱分布図



(出所) Geothermal Resources

有望な情報が得られたはずである。このDamavand地域がもっとも有望という理由としては、

- 1) 噴気孔を持った活発な活火山であること (SabalonとSahandhは死火山)
- 2) 首都テヘランに近いこと
- 3) ヨーロッパの地質学者や国連などにより調査されていること
- 4) Maku-Khoyと比較して開発が容易なこと
- 5) 数多くの温泉が存在していること
- 6) 質の良いキャップ・ロックがあること
- 7) 地層の亀裂が多いこと

が考えられる。

9.1.4 その他の新エネルギー

本調査において、その他の新エネルギーとしては、バイオマスエネルギー、小水力発電の検討が予定されていた。前者については、牧畜地域などで、家畜の糞尿を天日で乾燥させ、それを燃料として実際に使用している実績がある。しかし、残念なことに、イラン側からバイオマス及び小水力に関するデータを得ることができなかった。また、日本国内においても、これらに関するイランのデータが入手できず、ポテンシャルの推定やその可能性を評価することはきわめて困難な状態である。

9.2 新エネルギーの開發現状

新エネルギーを利用する目的としては、大きく分けて2つの考え方がある。その一つは、地球環境保全、もう一つは、エネルギー資源の枯渇問題である。

地球環境問題の観点から考えれば、化石燃料の大量消費は、二酸化炭素排出量の増大をもたらし、その結果、地球温暖化問題、成層圏オゾン層の破壊、酸性雨による森林破壊、砂漠化の進行など様々な障害を生み出すことになる。

一方、エネルギー資源の枯渇問題の点では、世界的なエネルギー需要の増大より、化石燃料の消費が年々大幅な増加傾向にあり、特に将来は発展途上国の消費比率が増えていくと考えられる。限りあるエネルギー資源を遠い将来まで温存するためには、代替エネルギーへの転換を進めなくてはならず、そのためにも今から新エネルギーの開発を積極的に研究、開発することが重要である。

ここでは、現在開発されてきたそれぞれの新エネルギーの利用分野を紹介していくこととしたい。

9.2.1 太陽エネルギーの利用分野

太陽エネルギーの利用形態は大きく分けて2つに分類される。1つは太陽エネルギー熱として捕らえて利用するもので、太陽熱による住宅、ビルなどの冷暖房、給湯への利用、高温にしてタービンを駆動させることによる発電（太陽熱発電）や、その他の動力源に使う利用法である。もう1つは太陽からの光エネルギーを直接電気に変換するシステム、すなわち太陽電池を利用して発電する方法である。

ここでは、主に太陽電池について取り上げることにする。

(i) 太陽光発電の利用分野

太陽光発電は、現在、発展途上国においては比較的発電コストのかかるディーゼル発電に変わって、また、欧米諸国などにおいては化石燃料の節約及び環境保全を考慮して、さまざまな分野で使われている。以下にその代表的な利用方法を列記する。

1) 地方電化

- ・遠隔施設（モスク、農場、学校、山小屋など）の電力供給
- ・村落電化
- ・街灯
- ・個人住宅システム
- ・バッテリー充電
- ・ミニグリッド（1つの太陽発電システムを数戸で使用する）

2) 揚水及び処理システム

- ・飲料水揚水
- ・灌漑揚水
- ・排水
- ・製氷
- ・海水淡水化
- ・浄化

3) 衛生管理システム

- ・地方診療所の照明
- ・保健所との間の極超短波トランシーバー
- ・医療薬品用冷蔵庫

- ・医療薬品運搬用アイスパック冷凍
- ・殺菌消毒装置
- ・血液貯蔵冷蔵庫

4) 通 信

- ・無線中継局
- ・テレビ及びラジオ受信機
- ・遠隔気象観測器
- ・移動局無線
- ・村落用電話ボックス
- ・データ収集及び伝送（河川水位，地震計）

5) 輸 送

- ・道路標識
- ・鉄道踏切
- ・警告灯
- ・浮標灯
- ・自動車道照明
- ・障害防止灯
- ・ロードマーカー（道路の中央などに埋めてある反射板）

6) セキュリティシステム

- ・安全灯
- ・遠隔警報システム
- ・電気柵（牧場用）

7) 防食システム

- ・橋，鉄管などの電気防食

8) そ の 他

- ・空調システム
- ・キャンピングカー電源
- ・電 卓
- ・養魚場自動流送システム
- ・太陽光湯沸かし器循環ポンプ

- ・歩道用照明
- ・ヨット／ボート用電力
- ・自動車バッテリー用細流充電器
- ・地震計測システム
- ・バッテリー充電器
- ・噴 水
- ・災害時の緊急電源

このように、太陽電池は、地方のエネルギー問題を解決するためのものとして認められており、その優位性としては、

- 1) 太陽電池システムは太陽光があるところならどこでも発電が可能で、送電線を必要としない。
- 2) 燃料が必要なく、太陽エネルギーには限りがない。
- 3) 運転操作や保守が可動部分などがいないために、他の発電システムより簡単・安全である。
- 4) 特別なインフラを必要としないために、地方においても建設が簡単である。
- 5) 風力、バイオマス、小規模水力のような他の再生可能なエネルギーよりも信頼性がある。
- 6) 規模の大小にかかわらず一定の効率で発電し、将来における拡張も簡単である。
- 7) 無公害のクリーンエネルギーである。

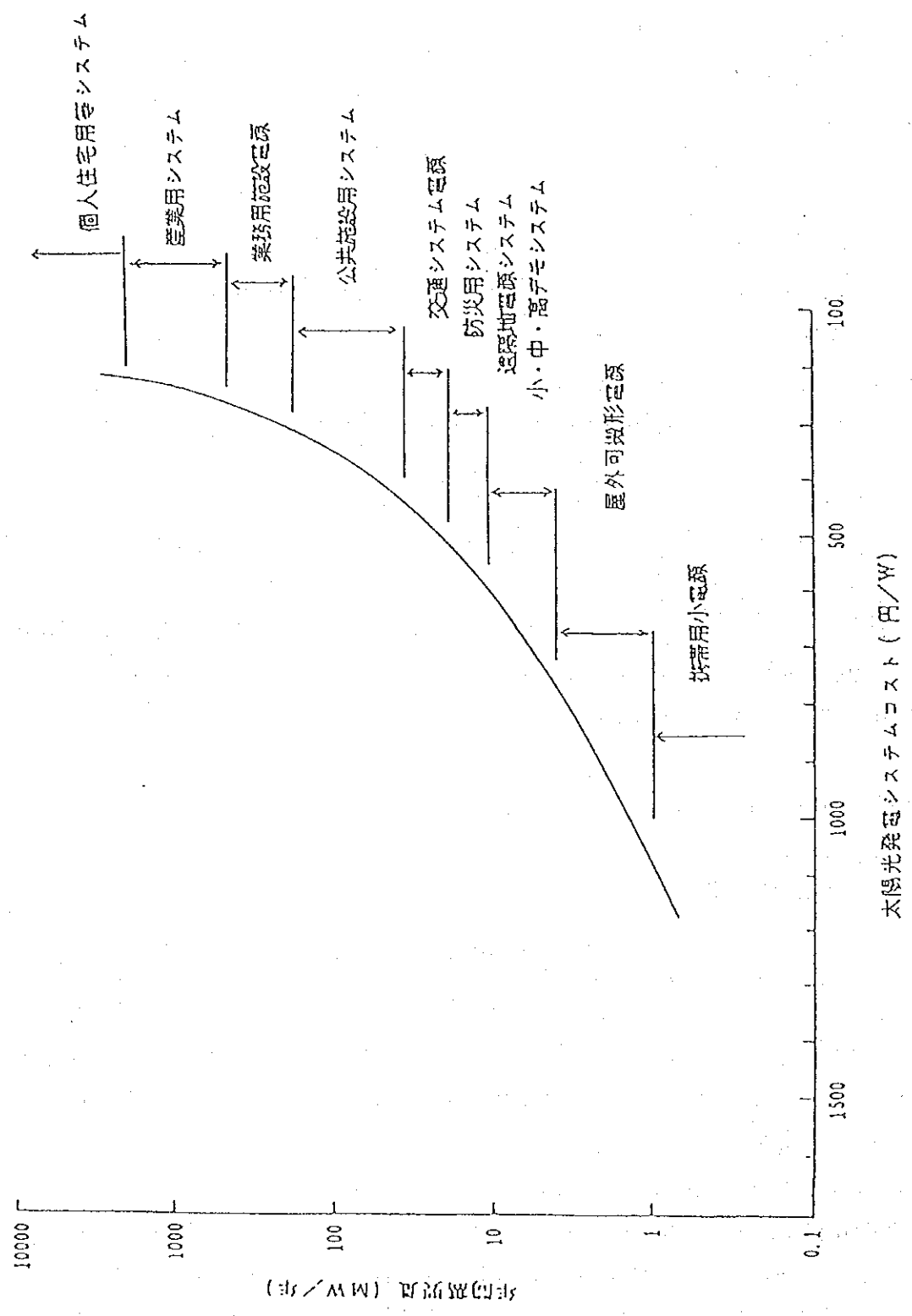
などがあげられる。

(ii) 太陽光発電コストの現状

日本の現状でも太陽光発電の発電コストは高く、いまだ商業ベースに至っていない。しかしながら、大規模な量産化、技術開発などにより、モジュールコストで 100～200 円/W、システムコストで 240～270 円/W、電力コストで現在の一般家庭での電力料金に相当する 20～27 円/kWh を達成しようと努力をしている。NEDO サンシャイン計画で評価された需要の見通しを図 9.7 に示すが、商業ベースにするためには、システムコストを 200 円/W 以下にしないといけないことになる。

太陽電池システムの可能性を分析するには、代替エネルギーと比較して検討されなければならない。一般に、太陽電池は、比較的小さなエネルギー量を必要とする発電所などから離れたところに対して競争力をもっている。一般には 1 日の電力需要が 10kWh 以下のところである。

図 9.7 太陽光発電の需要見通し



(出所) NEDO

太陽電池システムの経済的な特徴は、次の点で他の小さな発電システムとは違っている：

- ・設備購入の初期投資が高い。
- ・燃料費がかからない。
- ・保全費が少ない。
- ・システム出力は地域に依存しており、それ故、経済的な評価はそれぞれの場合で評価されなければならない。

経済評価を行うときは、以下のパラメーターを考えることになる；

- ・ライフサイクルシステム総コストと、そのシステムの寿命中に生じた利益を現在価値で表す
- ・返済期間—総コストがシステムから得られた利益で支払われる期間
- ・収益率—システムから得られた利益と初期投資額との比較

太陽電池の生活に密着した使用方法は、集落の飲料水及び灌漑揚水、照明、冷蔵庫などがあげられる。しかしながら、相対的な経済評価はその地域での太陽光資源と燃料コストと、その使い方を含む地域性に依存するであろう。図9.8は太陽電池とディーゼル発電の比較を示している。

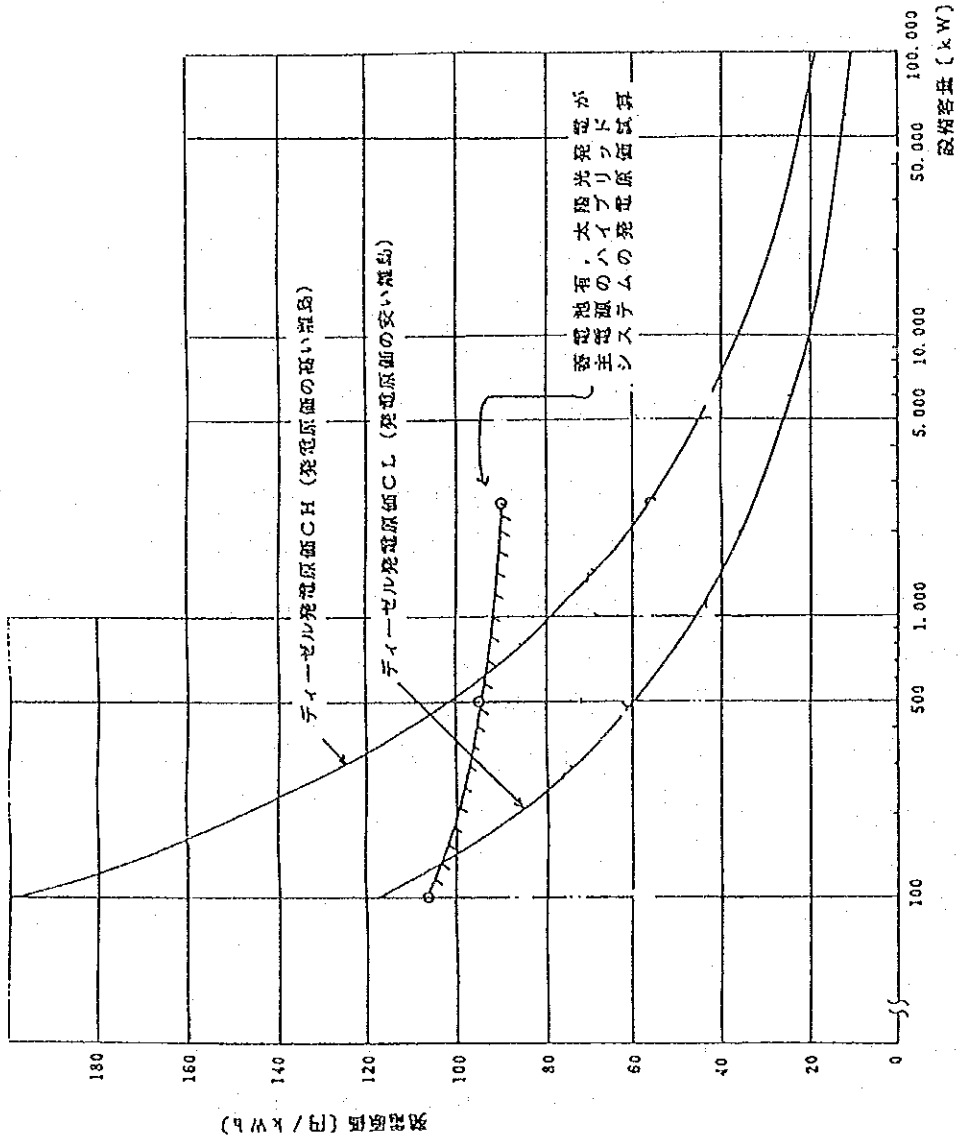
太陽光発電の導入をより円滑に進めていくためには、太陽電池の低コスト化が不可欠の条件であり、技術開発による効率向上と需要増大による量産化などが期待されている。中長期的には、超高効率太陽電池の開発などによってモジュールの低コスト化を図るべく研究開発を推進している。日本における太陽電池の製造コストの推移は図9.9に示す通りであり、2000年での目標値は1W当たり100—200円である。

なお、海外における太陽電池モジュール価格の現状は、大量発注で4～5ドル/W程度である。

日本では、太陽光発電による発電コストは、ディーゼル発電に頼っている離島などを除くと、高いものになっている。そのため、一般には太陽光発電が普及しておらず、システム価格を高いものとしている。現在、年間100MW程度の量産が可能とした場合、システムコストは450円/Wとなり、発電コストは40円/kWhとなると試算されている。これは現在の一般家庭における電力料金の約1.5倍程度である。

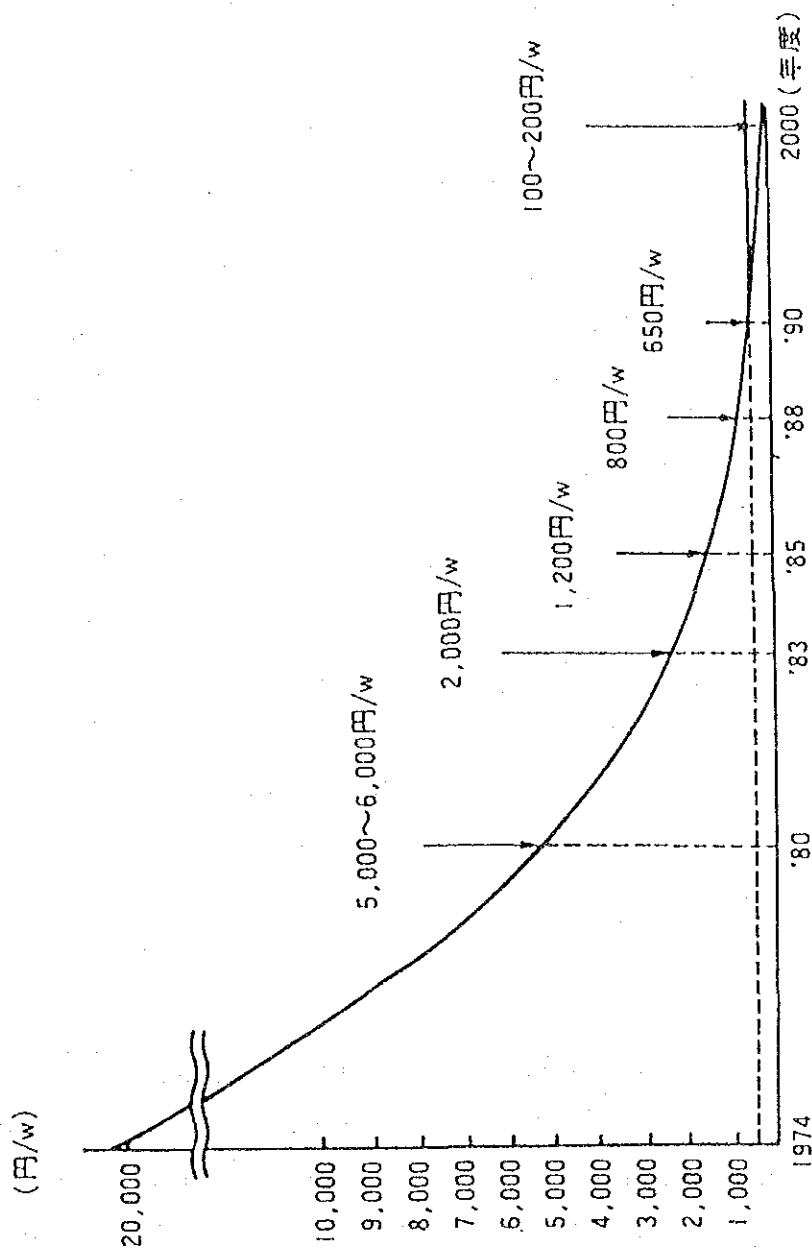
太陽光発電の技術開発は、加速度的に進んでおり、効率向上を中心とした技術開発による発電コストの低減から、2000年時点には一般家庭における電力料金程度にコストを引き下げることを目標としている。

図 9.8 太陽光発電とディーゼル発電の発電原価比較



(出所) NEDO

図9.9 太陽電池製造コストの推移と今後の目標



(出所) NEDO

9.2.2 風力エネルギーの利用分野

風力の利用分野は、一般的に、規模及び用途の両面から、次の3つの分野に大別される；

- 1) 小規模かつ補完的な分野で、民生、農林水産業、レジャーなどのエネルギー源
- 2) 離島や僻地などの電源をはじめとする中規模の利用分野
- 3) 将来のエネルギー供給の一翼を担うことを目的とした大規模発電への利用

代表的な風力の利用分野を、発電、機械力、発熱の3分野に分けて考えると、大まかに以下のようなになる；

- 1) 発 電
 - ・電力網との接続
 - ・中継所の電源
 - ・充 電
- 2) 機 械 力
 - ・エアレーション
 - ・揚水ポンプ
 - ・攪 拌
- 3) 発 熱
 - ・温室の加温
 - ・風呂の予熱
 - ・発酵促進

なお、風力エネルギーの利用分野は上述のように固定されているわけではなく、たとえば、太陽光発電とのハイブリッド（組み合わせ）化、太陽熱とのハイブリッド化などにより、それぞれの中間的な領域における利用分野も考えられる。

一般のエネルギー供給システムと比較した風車でのエネルギー供給の費用効果分析には色々難しいところがある。というのは、その費用分析は風速、システムの利用率、求められているエネルギー量、燃料（競合エネルギー）の種類等に依存しているからである。

発電コストは発電に要した全ての費用を、発生した電力量で割ったものであり、発電原価に相当するもので、次式で表される。

$$\text{発電コスト} = (\text{資本費} + \text{燃料費} + \text{運転維持費, その他}) / \text{発生電力量 (円/kWh)}$$

風力発電の場合、燃料に相当するものは自然の風そのものであり、燃料費は不要となる。これは大きな特色、利点でもあるが、その他の費用は通常のプラントの場合と同様である。

これら通常のプラントと風力発電を比較する上で経済性分析に多く使われているものが、均等化発電コストである。この均等化発電コストは、発電プラントの償却期間全体の発電コストを平準化したものであり、初年度発電コストよりは低い値となる。

日本では、均等化発電コストで考えれば、単基出力 300kWの風力発電プラントでは、設備費が1基 7,500万円程度になり、設備利用率が20%以上の地点では、1基しか設置しないような場合でも、発電コストは1kWh当たり45円程度であり、在来の離島用ディーゼル発電（約50円/kWh）よりも優位に立つ。さらに複数基設置になれば、1基あたりの建設工事費と運転費が安くなるため、発電コストは2基ケースで20円、4～5基ケースで21～22円となり、商業ベースに近づいてくる。

前提条件を表9.2のようにした風力発電システムの均等化発電コストの設備費と設備利用率との関係は図9.10に示されている。

9.2.3 地熱エネルギーの利用分野

古来から日本人は温泉が好きで、温泉が湧くと人が集まり、溢れるばかりのお湯につかって筋肉のしこりをいやし、くつろいだ気分になる。古代のローマ人もやはり温泉が好きだったようで浴場の跡がみられる。

しかしながら、ただ、お湯につかるという目的だけで地熱を利用することはエネルギー資源の無駄遣いであり、温泉以外にも多目的に利用するようになり、自然の蒸気で炊事をしたり、卵や野菜をゆで、パイプで熱水や蒸気を容易に引っ張ることが出来るようになると、暖房や乾燥、発電にとさまざまな用途に利用されるようになってきた。以下に主な地熱エネルギーの利用方法を列記する；

1) 発 電

- ・ 蒸気発電
- ・ 熱水発電

2) 暖 房

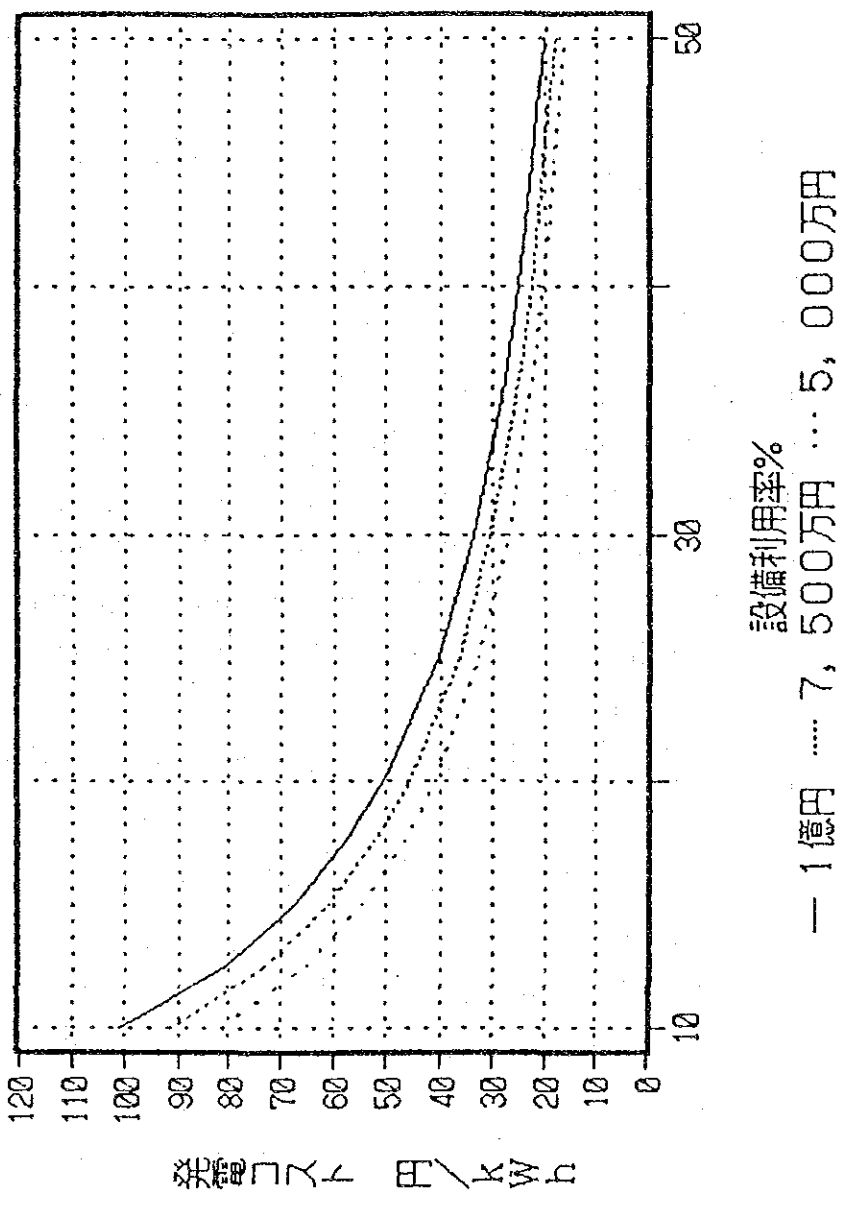
- ・ 温室暖房
- ・ 建物暖房
- ・ 地域暖房

表9.2 風力発電システム経済分析の前提条件

項 目	内 容	備 考
1. 設備		
1) 定格出力	300kW	
2) 所内率	5%	
3) 年間時間数	8,760時間	365日/年×24時間/日
4) 設備費	10,000万円/基 7,500万円/基 5,000万円/基	3ヶースを設定、複数基でもディスプレイカウ トはなし
5) 建設工事費		複数基設置の場合基数の1/2乗でディスカ ウント
6) 従事者数	3人/1~5基	管理事務1名、運転・保守2名
2. 資本コスト		
1) 金利	5.0%	(設備費+建設工事費)
2) 減価償却率	6.0%	定額償却、償却年数15年、残存価値10%
3) 固定資産税率	1.4%	(設備費+建設工事費)
4) 踏査費率	0.6%	(設備費+建設工事費)
5) 年経費率	13.0%	(設備費+建設工事費) 初年度費+建設コスト計算用
6) 資本回収率	9.6%	(設備費+建設工事費) 均等化+建設コスト計算用
3. 運転コスト		
1) 人件費	500万円/人・年	
2) O&M費	1.0%	(設備費+建設工事費)

(出所) NEDO

図9.10 均等化発電コストの設備費及び設備利用率との関係



(出所) NEDO

- ・土壌加温

3) 乾 燥

- ・木材乾燥
- ・セメント乾燥
- ・農水産物乾燥

4) 給 湯

- ・温水プール
- ・浴 用

5) 融 雪

地熱発電所の設備は、通常の火力発電所の設備に比べて、ボイラーが不要とというものの、その他の設備は地熱発電所独特のものであることと、火力発電所に比べ規模が小さく限られているため、スケールメリットが得られず、石油やガス火力よりも建設単価が多くかかる。しかし、火力発電の場合、発電原価の6割以上が燃料費であるが、地熱発電では燃料費はいらないことになる。しかし、燃料の代わりに蒸気井が必要となる。蒸気井は深さが数100メートルから2,000メートル程度、太さも口元で直径50センチメートル程度の大きいものであるから、その掘削費は数億円もかかるものもある。このような蒸気井が数本は必要であるから、掘削費は巨額なものとなる。

従って、一言に通常の火力発電と地熱発電の経済性を事前に評価することは難しく、期待された蒸気井を掘削する確率に左右される。

表9.3は各種発電方式の経済性を比較したものである。

表9.3 各種発電方式の経済性

発電方式	工事期間		出力 万kw	建設単価 万円/kw	発電原価 (送電端) 円/kwH	試算時点
	着工	延開				
水力 (一般)	1980.7	1985.2	2.1	35.9	12.60	1981
火力 (重油)	1976.11	1979.6	35.0	16.5	11.00*	1976
" (石炭)	1981.10	1985.9	60.0	25.9	15.25	1981
" (LNG)	1984.4	1987.10	69.0	14.1	19.92	1982
原子力 -	1978.12	1985.10	110.0	43.0	17.06	1982
地熱 (蒸気購入)	1981.4	1982.11	5.0	20.5	23.24	1981
" (蒸気井掘削)	1983.6	1985.9	5.5	45.5	13.85	1982

(出所) 地熱エネルギー

9.3 プロジェクト・アイデア

新エネルギーの中でイランにとって最も有望と考えられるのは、太陽エネルギーの利用である。イランの日射量は日本や太陽電池が普及しているドイツなどと比べても約50%以上も多いとされており、したがって、同じ規模の設備をこれらの国々から輸入しても、太陽電池の発電コストは低く抑えられるといえる。現状のイランの1日の電力負荷曲線は、日本とは違い、電力需要のピークが夜に集中している。これはイランと日本の産業構造の違いや冷房機器の普及が十分でないことが考えられる。しかし、2011年、2021年を考えると、イランも徐々に負荷ピークが日本のような傾向をとるようになると想像される。また、イランの内陸部や南部は、夏の気温が40度を超す暑さになり、経済成長の伸びに連れ冷房機器が普及するであろう。そこで将来の電力需要の増大に備えて、豊富な太陽資源の研究、開発を今から計画し、エネルギー資源の温存につとめる必要がある。

特に内陸部の砂漠地帯は過疎化のため電力網が十分に行き届いてなく、小さな村落地帯ではディーゼルによる自家発電で電力需要を賄っているのが現状である。このような地域はイランでも特に日射量の多い地域の一つであり、豊富な太陽エネルギーを有効活用することが望ましい。たとえば、ミニグリッドシステムによる冷暖房及び冷凍保存の充実、無線中継局の設置、パイプラインなどの電気防食などが考えられる。しかしながら、太陽光資源が豊富なイランといえども、発電コストは従来のエネルギーよりかなり高いものになり、新エネルギー普及のためには、当面、このコスト問題の解決が必要である。

一般にコストの高い新しいエネルギーは量産効果と技術開発によってコストを下げる努力がなされる。イランにおいても、有望な太陽資源を普及させるためには、次のようなステップが必要である。

- 1) 公共事業、公共施設での導入及び積極的な技術開発
- 2) 設置者に対しての補助金制度
- 3) 余剰電力の買い取り制度

これらの制度で太陽光発電システムが普及することにより、工場がそれまでの注文生産から大量生産に変わり、太陽電池産業が成立し、量産効果によりコストが低下し従来エネルギーとの競争力がつくことになる。

現在のところ、イランのエネルギー価格はきわめて安いので、比較の対象とはならないが、エネルギーの分散化という意味では、開発調査を進め、有限資源の温存に努めるべきである。

風力エネルギーと地熱エネルギーについては、すでにイランのポテンシャルを簡単に記述したが、特に風力の場合は今のところ有望地点が見つかっていないこと、また、地熱にしても、その資源量や開発可能量がつかめないことから、将来に向けての開発調査を勧めることとする。

<参考資料>

- (1) RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, VOLUME I SOLAR ENERGY, ESCAP TCDC, Dec. 1980
- (2) サンシャイン計画 輝ける太陽エネルギー, M I T I
- (3) 新エネルギー政策特別研究セミナー講演資料, 日本計画研究所
- (4) 日本-アラブ太陽エネルギー国際会議, 中東協力センター, 1983. 3
- (5) RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, VOLUME III WIND ENERGY, ESCAP TCDC, Sep. 1981
- (6) 風力発電システム導入ビジョン有望市場調査, N E D O, 昭和63年3月
- (7) 中小風力発電風況調査, N E D O, 平成元年3月
- (8) さわやかエネルギー風車入門, 三省堂
- (9) GEOTHERMAL RESOURCES, APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD
- (10) 地熱エネルギー読本, オーム社
- (11) 大地のエネルギー地熱, 古今書院

JICA