

■ 特 集 ■ 採鉱技術からみた資源開発

採炭技術と保安技術

Technologies for Coal Mining and Safety

大 場 重 美*

Shigeyoshi Oba

1. はしがき

OPECのあいつぐ原油価格引上げ、イラン・イラク戦争の勃発等、国際石油情報は日増しに厳しさを増し、中・長期的にも逼迫化の方向に向うことは避けられない。特にエネルギー供給の石油依存度、海外依存度の高いわが国では、石油の依存度を現在の75%から1990年には50%に下げるとの代替エネルギー開発及び導入が緊急課題とされ、その一環として石炭利用促進政策が推進されている。

石炭はわが国における唯一の国内エネルギー資源であり、国内炭の生産を長期的かつ最大限に維持することはナショナル・セキュリティの上からも最も重要な課題といえる。わが国の炭鉱の採掘条件は、諸外国のそれに比べてはなはだ悪く、そのため国内炭の価格も外国炭に比べて若干高いが、それでもカロリー当りの単価は今や石油よりもはるかに安くなっている。今後、一般炭の輸入が大幅に増えてゆくと思われるが、価格の点だけで国内炭を敬遠したり、石炭が安いからという理由だけで石炭を使うという考えは基本的に改めるべきであろう。

わが国の石炭生産技術及びそれに不可欠な保安技術は、劣悪な採掘条件にもかかわらず、他の石炭生産国と同等またはそれ以上のレベルに達し、一部その技術が外国に輸出されている。海外鉱山の開発の面からもこれらの技術は維持されるべきものである。

2. 石炭生産量の推移

図-1に示すようにわが国の石炭鉱業は明治初期に始まり、明治、大正、昭和初期と、年を追うごとに生産

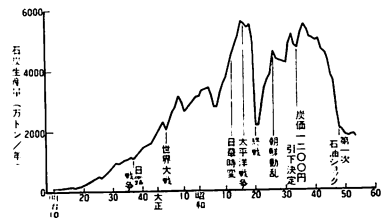


図-1 わが国の石炭生産量の推移

量を増やし、大太平洋戦争勃発直前の昭和15年には年産5,631万トンの最高値を示した。それが戦争末期から終戦直後にかけて、労働力及び資材の不足のために、2,200万トン程度に激減し、鉄道の運行すらも阻害される状態に到った。これに対し、戦後経済の復興と民生安定のための石炭生産の回復が最優先政策に位置づけられ、石炭庁の設置、傾斜生産方式の実施、国管法の施行等の緊急対策がとられ、昭和22年には2,938万トン、24年には3,730万トンと急速な生産回復をみせた。その後、朝鮮動乱、神武景気、岩戸景気など産業活動の動向とともに石炭生産量も増え、昭和36年には戦後最高の5,531万トンを生産した。昭和32年当時の長期計画では、昭和50年には7,200万トンを生産することになっており、政府、世界銀行、外国調査団等もこの計画を妥当なものと認めていた。当時としては、40年以後の急激な転落を夢想だにしていなかったのである。

昭和30年代後半に至り、わが国経済の高度成長につれて、安価な石油にその座を奪われ、昭和38年には炭価の1,200円引下げを決定、政府のスクラップ・アンド・ビルド政策とともに、石炭鉱業は極度の窮地に追い込まれて、多数の非能率炭鉱の閉山を余儀なくされた。そして生産量も、昭和40年5,011万トン、44年4,358万トン、46年3,172万トン、48年2,093万トンと急激な

* 工業技術院公害資源研究所 資源第4部長

〒305 茨城県筑波郡矢部町小野川16-3

下降線を辿り、昭和50年には2,000万トンを割って1,860万トンとなり、ここ数年は1,800万トン維持が目標とされている状態にある。

一方、諸外国、特に石炭埋蔵量の大きな米国、ソ連、中国、オーストラリア、カナダ、ポーランド、南阿等においては1965年（昭和40年）以後、生産量が増え続け、特に第2次石油危機以後の増産ぶりは目をみはるものがある。

3. 採炭技術の進歩

わが国の採炭技術は長壁式採炭法を基本としている。終戦後、GHQは米国の柱房式採炭法の導入を推奨したが、日本の炭鉱に適さない面が多かったので普及しなかった。昭和23年宇部大浜炭鉱で初めて長壁切羽に鉄柱が、また翌年に鋼製カップが導入され、以後カップ採炭が広く普及するようになった。また同じ頃、切羽運搬機として、従来のトラフコンベアに代ってH型コンベアが導入され、その後の切羽機械化発展の基礎が築かれた。

3.1 長壁切羽の自然条件

図-2は、長壁切羽の自然条件として、採掘炭層の山丈（厚さ）、切羽深度、切羽面長、切羽から坑口までの運搬距離の推移を示す。炭層山丈については、昭和30年頃は平均1.7mであったものが、45年以後は2.8～3.2mと倍近い厚さとなっており、生産の集約化の結果、薄層が稼行対象から除かれていったことを物語っている。国内資源の活用面からみて、薄層の経済的採掘について再考の要がある。

切羽深度についてみると、昭和40年以降、かなりのテンポで深部に移行しており、40年から55年までの15年間に210m、したがって年平均14mの割合で深くなっている。これも生産の集約化の結果、条件の良い少数の炭層から大量出炭することによるものであろうが、地圧増大による支保や盤膨れの問題、ガス突出や山は

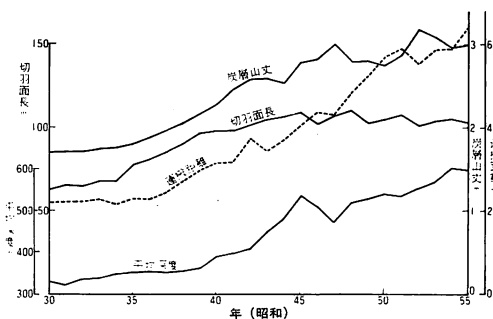


図-2 長壁切羽自然条件の推移

ねの危険性、ガス湧出量や温度の上昇等、生産面及び保安面の問題が大きくなる。

切羽面長は、昭和30年には約65mであったものが、40年以降は100～110mにほぼ定着している。切羽から坑口までの運搬距離は、深部化とも関連し、昭和30～36年に約2.1kmであったものが、それ以後は年々長くなって55年には6.4kmと3倍になっている。運搬機器の保守やコスト、また通気等の保安面からも問題であり、今後新しい立坑の開さく等、何らかの処置の必要性を感じさせる。

3.2 切羽能率及び労働者数

図-3は長壁切羽における生産能率、1切羽当りの日産量、及び全炭鉱労働者数の推移を示す。

労働者数は、昭和32年に約30万人であったものが、38年までの6年間に約12万人に激減し、最近では約2万人と1/15になっている。若年層の都会への流出と重労働の忌避の傾向が炭鉱労働者の確保を困難にしており、現存労働者の高齢化とともに、国内生産量1,800万トン維持のために何とか解決しなければならない大きな問題である。

長壁切羽の日産量は、昭和30年頃は1切羽平均100トン程度であったものが、55年3月には580トンと約6倍に増えており、生産の集約化の結果を如実に物語っている。

切羽能率についても同様なことが云え、採炭機械、特に大出力のレンジングドラムカッタと自走支保の組合わせによる機械化の推進によって、昭和30年頃は約3トン/人日であったものが、55年3月には実に17.6トン/人日と約6倍に向上している。ちなみに英国の切羽能率の推移と比較してみると、英国では1970年に8.4トン/人方（計算の仕方が日本と違うので絶対値の比較は難しい）のものが1978年には9.93トン/人方と1.18倍しか増えていないのに対して、日本では同じ期間に9.8トン/人日から14.9トン/人日と1.52倍に

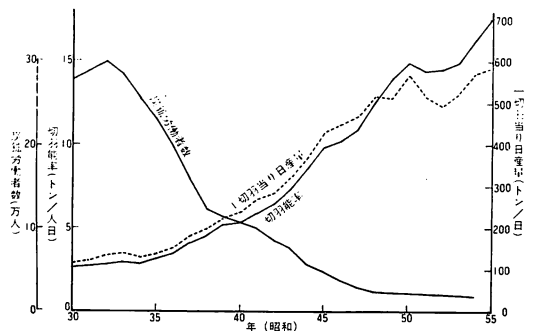


図-3 切羽能率と労働者数の推移

著しい向上をみせている。

3.3 採炭方式

長壁式採炭法には、前進式と後退式の2つがある。前進式長壁法は、長壁切羽の前進に合わせて両側の採炭坑道を掘進して行く方法で、採炭と掘進の両作業が同時に行われるため、一寸とした支障が切羽前進速度を遅らせがちであり、また両坑道間の採掘跡中で漏風による自然発火が起り易いという保安上の問題があるが初期投資が少なくてすむという利点をもつ。これに対し後退式は、長壁切羽を作る前に2本の採炭坑道を掘進しておき、切羽は後退しながら採炭してゆく方法で、採炭に先立って炭層条件をある程度確認しておくことができ、また保安上も好ましい方法である。

図-4は前進式長壁切羽と後退式長壁切羽の生産率の推移を示す。昭和30年代までは優位にあった前進式が閉山の続出した40年代に入って少くなり、出炭の集約化につれて後退式切羽からの出炭が多くなった。最近では後退式切羽の生産率が約65%、前進式が約10%という状態になっている。

機械採炭とならぶ高効率採炭法として水力採炭がある。昭和33年に神林炭鉱で水力採炭の試験が行われて以来、明豊、本岐など数炭鉱で実施され、昭和39年からは三井砂川炭鉱の登川地区で全面的に採用され、実揚程500mを超える水力輸送と合わせ、水力炭鉱を完成した。水力採炭切羽では、40~120 kg/cm²の圧力水をモニターで炭壁面に吹付け、炭層を崩して採炭するが、能率は原炭で100トン/人日を上まわる切羽もあり、その技術は諸外国で高く評価されている。特にカナダのバルマー層(厚さ15m)の水力採炭は日本の炭鉱技術陣によって成功を収めたもので、同層の露天掘をしのぐ好成績を挙げている。

3.4 採炭機械

採炭機としては、戦後間もなくジブカッタの出力増大とダブルジブ型、バンドジブ型などの改良が加えら

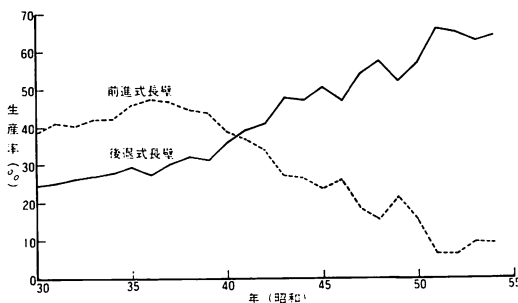


図-4 採炭方式別生産率の推移

れたが、30年代に入ってドラムカッタが導入されるとともに、ドイツからホーベルが導入された。

ドラムカッタは41年にドラムが上下動するレンジング型が導入され、さらに機械の前後に2つのドラムを取付けて往復採炭ができるようにしたダブルレンジング型が普及し、現在はほとんどこの型が使われている。ホーベルは、最初のレッベホーベルから数種の改良型が導入され、41~43年頃にはホーベルとドラムカッタの生産率はほぼ等しく、合わせて全体の50%を両者で生産したが、その後、わが国の炭層条件や自走支保との組合せにおける適応性にまさるドラムカッタが優位に立ち、55年3月にはドラムカッタが71%に達し、ホーベルは2%に減った。図-5は炭切法別の生産率の推移を示すが、中・急傾斜切羽では発破・ピック採炭が、緩傾斜切羽ではドラムカッタ採炭がほぼ定着していることがわかる。

3.5 切羽支保

切羽支保としては、戦後、木柱から鉄柱カッペに変わり、昭和37年には鉄柱カッペ切羽からの生産率が約75%にも達したが、その後、水圧鉄柱が導入され、44年には鉄柱カッペ切羽からの生産率は16%に、水圧鉄柱切羽は54%となった。

自走支保の発展は、昭和33年に三井三池製作所が試作した厚層用移動組枠に始まり、35年以降、西独フェロマティック型や英国ルーファスタ型の導入が試みられたが、本格的な普及が始まったのは、昭和40年代に入ってからである。前述のレンジングドラムカッタが炭層の天盤ぎわまで採炭できることが自走支保の作動とよく適合し、特に42年に導入されたOMKT型シールド枠との組合せが画期的な成功を収めて以来、ドラムカッタとシールド自走枠による高度機械化が緩傾斜切羽の主流となり、月間切羽生産の記録がつつぎに更新されて、原炭で月に12万トンを上まわる現在のレベルに達した。昭和50年には、大平洋釧路炭鉱で実現

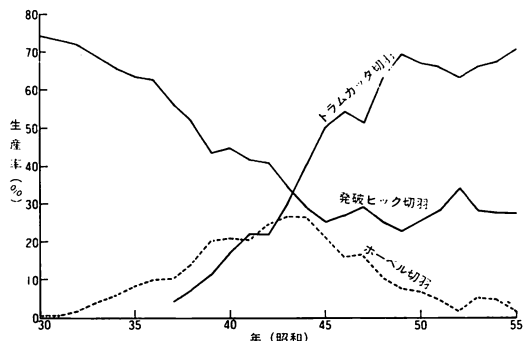


図-5 炭切法別生産率の推移

したSD方式から発展したW-SD方式の長壁切羽設備がオーストラリアに輸出された。

図-6は切羽支保別の生産率の推移であり、昭和55年3月には自走支保・ドラムカット切羽からの生産率が68%に達しており、これは緩傾斜切羽出炭量の95%に当る。中傾斜切羽用の自走支保の開発研究が石炭技術研究所で行われているが、未だ定着・普及を見るに至らず、急傾斜用及び薄層用の自走支保と合わせて今後の開発課題であろう。

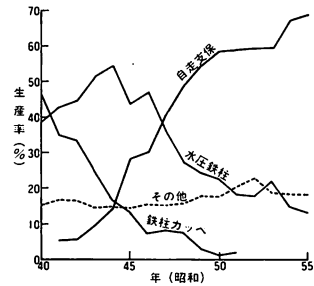


図-6 切羽支保別生産率の推移

3.5 坑道掘進

坑道掘進の機械化としては、積込にクローラ走行のサイドダンプローダが主流を占め、機械積率は昭和30年頃に約10%であったものが、40年には63%、54年には約90%と向上している。掘進機として、昭和32年のコンテナスマイナの導入後、ソ連のPK3の導入を経て、現在は国産のロードヘッダが普及している。発破掘進でも、ドリルジャンボによるバーンカット方式の導入、ディーゼル駆動タイヤ走行のローダの導入、スラリー爆薬の試験的使用等によって能率の向上を目指している。これらの努力によって、掘進能率は沿層坑道で昭和30年の3.0 m³/人日が54年には6.5 m³/人日と2倍以上に伸びている。

4. 保安技術

一般の産業において生産と保安は表裏一体をなすものであるが、特に石炭鉱業の場合は保安の確保なくして生産はあり得ない。地下の坑道網からなる鉱山ではある一個所に発生した災害が坑内の他の箇所、場合によっては全坑内に拡大し、大災害に発展する危険性が存在する。災害の種類や大きさによっては、ある期間生産を停止しなければならず、最悪の場合には閉山せざるを得なくなる。

炭鉱の保安上の特質は、炭層の採掘に伴って大量のメタンガスが坑内に湧出すること、坑道や切羽に常に大きな地圧がかかっていること、採炭に伴って大量の炭じんが発生すること、条件によっては石炭が自然発火を起すこと、地下水、時に高温水が湧出すること、地下深くなると地熱が上昇すること等である。

図-7はわが国の炭鉱における災害率の推移を示す。図中、実線は度数率（稼働延100万時間当りの災害率）であり、昭和42年の114.9をピークにして急激な減少を示し、54年には19.92と1/5以下になっている。破線は生産100万トン当りの災害率で、昭和33年の1,246人から次第に減少し、54年には89人と1/14に

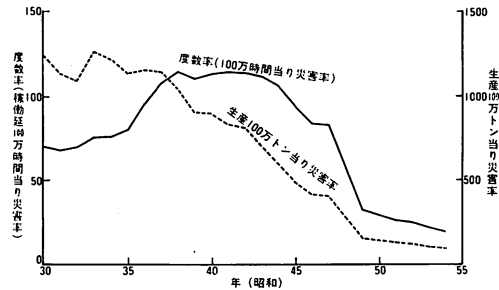


図-7 炭鉱の災害率の推移

なっている。しかしながらこれらの災害率は一般産業は勿論、同じ鉱山でも他の金属鉱山、石灰石鉱山の災害率に比べて数倍も高い値であり、今後さらに改善への努力が望まれる。

炭鉱の災害には、落盤、ガス・炭じん爆発、ガス突出、自然発火、坑内火災、出水等があるが、そのうちの幾つかについて以下に述べる。

4.1 ガス・炭じん爆発

衆知のように、メタンガスを5~15%混合した空気に火を着けるとガス爆発を起す。炭層はその生成過程で発生したメタンガスを含んでおり、特に生成年代の若いわが国の炭層は諸外国の炭層に比べて大量のメタンを含んでいる。北海道には石炭1トン当り100 m³以上のメタンを含む炭層も多く存在する。

ガス爆発災害を防ぐために、炭鉱坑内では空気中のメタン濃度を1.5%以下に抑えることが法的に規制されており、濃度がそれ以上になったときには電源遮断や作業停止等の処置をとらなければならない。このため、炭鉱では坑口に大きな扇風機を設置して常に坑内に空気を流す「通気」を実施し、坑内に湧出してくるメタンを稀釈して濃度が1.5%以下になるようにしている。また、炭層が大量のメタンを含むような地域では、採炭に先立って、炭層または上下盤に作孔した長いボーリング孔によってメタンガスを吸引する「ガス抜き」を実施し、抜いたガスをパイプで坑外に送り、ボイラー等の燃料に使用している。

炭鉱坑内で使用する電気機器は、すべて防爆検定合

格品でなければならない。また保安係員は常にガス濃度の測定を行わなければならないが、最近では、センサーを坑内主要個所に置き、そのガス濃度信号を坑外の監視室に伝送する「集中監視システム」が大部分の炭鉱で実施され、保安の向上に役立っている。

石炭の採掘時に大量の炭じんが発生するが、ある濃度以上の炭じんが浮遊している空気に火が着くと炭じん爆発を起す。一般には、ガス爆発が先ず起り、その爆風によって坑道の床や壁などに沈積していた炭じんが空气中に舞い上がり、炭じん爆発に発展する場合が多い。一旦炭じん爆発が起ると、その爆風が前方の炭じんを舞い上がらせ、つぎつぎに爆発が伝ばして行き、時には全坑爆発に発展する。炭じん爆発の恐しさは、爆発の火災や圧風による被害もさることながら、爆発によってできた「後ガス」が高濃度のCOを含むことである。昭和38年に起きた三池炭鉱の炭じん爆発災害では、爆発後ガスが通気とともに各切羽に流れたため400人以上のCO中毒による死者を出す悲惨な結果となった。

炭じんの爆発の発生を防ぐには、まず第1に坑内の炭じん量を少なくするため、採炭機に散水装置を取付けたり、坑道の清掃を頻繁に行うこと、第2には岩粉を炭じん沈積地帯に散布して、ガス爆発の圧風等で炭じんが舞い上がったときにも岩粉の存在によって炭じん爆発が起らないようにすること、第3にはガス爆発を起さないようにすることである。また炭じん爆発が起きたときにその伝ばを途中でくい止めるために、坑道のところどころに岩粉棚や水棚、あるいは吊し水袋帯を設け、爆風によりそれらが転覆することによって火災の伝ばを停める方法がとられている。

4.2 ガス突出

掘進中の坑道、または採掘中の切羽で突然大量のメタンガスと粉炭が突出してくる現象で、時には炭車で数100台分の粉炭が坑道を埋めつくすこともあり、その付近で働いていた人々が粉炭の中に埋ったり、ガスのために窒息死する災害である。このようなガス突出が何故、どのような機構で起るかについては、世界中の学者が研究しており、いろいろの学説が提唱されているが、未だ確たる定説はない。原因がはっきりしないのであるから、その防止対策も経験に頼らざるを得ず、国により、また地域によって違った方法がとられている。わが国の炭鉱では、まずガス抜きを十分に行うこと、先進ボーリング、ゆるめボーリングを大口径で行うこと、時に誘導発破を実施することなどの方法

がとられている。また突出直前に起る微振動の計測やAEによる予知の研究が行われている。採掘深度が深くなるにつれ、ガス突出発生危険性も増えると考えられるので、その予知予防対策の確立は保安上どうしても解決しなければならない大きな課題である。

4.3 石炭の自然発火

石炭は空气中で徐々に酸化するが、酸化熱の内部での蓄熱が表面からの放熱を上まわると温度が上昇し、加速度的に酸化作用が進んで、遂には発火する。炭鉱坑内で自然発火の発生する個所は、漏風程度の空気の流れがある炭層採掘跡が最も多く、この他、クラックがあって多少の空気が供給されるような炭層内などがある。坑内で石炭の自然発火が起きると、大量のCOが発生するし、時には坑内火災に発展することもある。また採掘跡中では、溜ったメタンガスがガス爆発を起す危険性もある。したがって、自然発火が発生した場合は、その区域を完全に密閉して酸素の供給を遮断する処置がとられ、その区域内にある採掘切羽を放棄せざるを得なくなって大きな損害を蒙る。

自然発火の発生を防ぐには、まず第1に採掘跡内に石炭を残さないこと、採掘跡からのガスサンプリングを常々行ってCO測定等による自然発熱の早期発見につとめること、採掘跡への漏風を少なくすることなどが重要である。最近、自然発火の起りそうな個所から坑外まで細いチューブで空気を吸引し、連続的にガス分析を行って、自然発熱の発生を監視するチューブ・バンドル法が赤平炭鉱で試験的に使用されている。

5. あとがき

今や世界中で石油に代るエネルギー資源として石炭が見直され、その生産量の増強が強調されている。残念ながらわが国の石炭埋蔵量は諸外国に比べて極めて小さいが、それでも石油価格の上り具合によっては、経済的に採掘できる炭層も未だかなり残されている。また海外炭鉱の開発においても、採掘条件の悪いわが国の採炭技術や保安技術が十分に生かせるようなケースも今後でてくるものと思う。国内で唯一のエネルギー資源である石炭の生産を今後とも年産1,800万トンに維持するために、政府と石炭企業が一体となって努力されんことを期待したい。

なお、本文中の統計資料は、通産省大臣官房調査統計部資源エネルギー統計調査室発行の「炭鉱設備等(切羽)調査」、通産省立地公害局発行の「鉱山保安統計年報」、それに全国炭鉱技術会発行の「全国炭鉱技術会30年の歩み」から参照させていただいた。