

低温断熱材として脚光を浴びるパーライト

～エネルギー問題に関連して～

山田正春

はじめに

昭和48年の年末には アラブ対イスラエルのいわゆる第4次中東戦争に端を発し アラブ産油国の原油供給制限という突如として襲った石油危機によって その需要量のほとんどを輸入に頼っているわが国は 工業用 家庭用を問わず深刻な影響を受け 大きな混乱におちいったことは ここに改めてのべるまでもない。そしてこの問題は ひとりわが国のみではなく 世界的な20世紀後半の大きな問題となり この結果混乱している各国の物価 食糧 通貨といった根本的な問題解決のため グローバルな単位で叡智を傾けた努力が続けられていることもまたよく知られている所である。

ところで このような情勢と時を同じくして 産油地帯で見捨てられていた いやかえって邪魔物扱いされていた天然ガスが とくにその多くが無公害なクリーン・エネルギーであるが故に注目され 何とかこれを利用する道はないものか さらにこれを液化して輸入する方法は どうであろうかということで 毎日のようにLNG (Liquid Natural Gas: 液化天然ガス) という言葉が新聞紙上をにぎわすようになったものである。

LNGのようなきわめて低い沸点を持つものの貯蔵や運搬には いろいろと困難な問題があり たとえばステンレスを使用せねばならないなど LNG用のタンカーやタンクについては 一般にもある程度は知られているが 案外知られていないのはその低温断熱材として重要

な素材である“パーライト”についてである。

最近 表1に示したような沸点の低い物質の貯蔵のため 低温断熱材としてパーライトの需要が急増しているが とくにエネルギー問題に関連してLNGやLPG用の需要が急上昇をたどるであろうことは容易に推察されるところである。とくに中近東の産油地帯において LNG用タンクに低温断熱材として使用されるパーライトは ほとんどがわが国産のもので この輸送によって生ずる問題点もシルブリコ工法という新しい現地加工法が開発されて解決された。事実 現在世界最大といわれるアラブ首長国連邦アブダビのダス島で建造されているLNG用タンクには 秋田県米内沢産のパーライトが使用されているのである。

したがってこのような情勢をふまえ パーライトに関するこれらの諸問題についてくわしくのべ 識者の関心に訴え かつ答えたいと思う次第である。

なお地質ニュース第94号で パーライトについての一般的な記述が すでに行なわれているので 重複するような項目については一部を除いて極力省略し ここではふれない。したがってそれらについては同号を参照されたい。

ハリ質岩石(ガラス質岩石)とは 黒曜岩(Obsidian)・真珠岩(Perlite)・松脂岩(Pitchstone)などを総称して使用される岩石学的用語で いずれも火山ガラスを主とする岩石である。

普通岩漿が地表の近くに上昇すると 温度の低下とともにイオン半径や電荷 さらに構造の安定性などによって 橄欖石・輝石・黒雲母・白雲母・長石・石英などの順に結晶してゆくが 途中で急冷されてこの状態が中断されることもある。この場合には残った熔融物は そのまま固化してガラス質となる。このうちガラスの量のとくに多いものをハリ質岩石またはガラス質岩石と呼ぶ。また火山岩漿が地上に噴出され急冷されたような場合は 岩漿に近い化学成分を有するものと考えられ 岩石学的にもきわめて重要である。

火山ガラスの主成分は珪酸(SiO₂)分で 60～76%程度であり 分類上は酸性火山岩に属する。また含有する水分によって 黒曜岩(2%以下)・真珠岩(2～5%)・松脂岩(5%以上で時に10数%)に分類される。

表1 液化ガスの種類とその沸点

種類	ガスの種類	沸 点		パーライト*との関係
		°C	°F	
石油・ガス工業	ブタン	- 0.5	31	タンク
	ブタジエン	- 4.4	24	
	ブチレン	- 6.3	21	
	プロパン	- 42.1	- 44	
	プロピレン	- 47.0	- 53	
	エチレン	-103.7	-155	
	メタン(LNG)	-161.6	-259	
酸素工業	酸素	-183.0	-297	タンク コールド・ボックス
	アルゴン	-186.1	-303	
	窒素	-195.8	-320	
	(ヘリウム)	-268.9	-452	
化学工業	アンモニア	- 33.4	- 28	タンク

* 低温液化ガスの輸送パイプ断熱にパーライト充填を用いる方法あり。

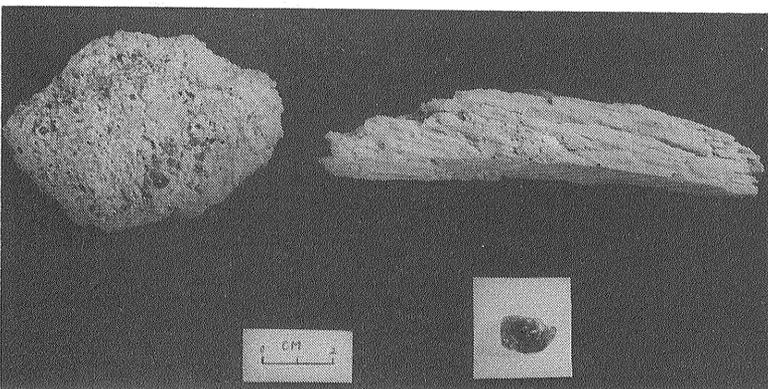
黒曜岩は熔岩または抛物体が主であるのに対し 松脂岩は熔岩または岩脈が多く抛物体は稀のようである。この他 火成岩源のハリには 軽石 (Pumice)・火山岩滓 (Scoria) などの多孔質のものも存在する。

火山ガラスといっても天然のものであるから ほとんど常に少量の斑晶と 石基には晶子 (Crystallite) を含有する。またこの種の岩石がハリ光沢を有するのは、石基に微晶をほとんど晶出していないことが原因と考えられている。ハリ質岩石の生成条件についても種々の議論があるが 特別な物理的条件の下に冷却・固結することが必要条件であろう。いずれにしても通常の急冷では浮石質のものを生ずるのに このような緻密質を生成することは 急冷と同時に高圧下の固結が考えられる。

ハリ質岩石は本邦各地に分布し 北海道から九州に亘って広い分布を示すが とくに黒曜岩は石器の素材として 人類によって古くから利用されたことはよく知られるところである。これらは安山岩・石英安山岩に伴うものもあるが 一般に流紋岩に伴うものが多く その噴出時代は 第三紀漸新世から第四紀洪積世にかけてであるが なかでも中新世～鮮新世後のものが最も多い。しかし火山ガラスは準安定であるため古期のものは永い地質時代を経過する間に結晶化したり あるいは粘土化したりしている場合が多いので 膨張パーライトとして利用できるものは 第三紀中新世以後のものに限られる。

パーライトとは これらの火山ガラスのうち工業的に利用可能のもので 鋳床を形成する状態から採掘され加工されるまでの状態のものと呼称である。

パーライトは外観灰～灰黒色を呈することが多く 時には赤・緑がかった色彩を呈することもある。普通流紋岩に伴うものに良質のものが多いが なかでも良質であるとして好まれるのは 大きくみれば柱状節理の発達したものである繊維状パーライトと Marekanite 型パーライト (写真1) である。



写真① 左 Marekanite 型パーライト 点状するのは Marekanite ball (中には右下砕中のような大きなものもある) 右 繊維状パーライト

表2 膨張パーライトの化学分析例

化 学 成 分	含 有 量 %
SiO ₂	77.6
Al ₂ O ₃	14.3
K ₂ O	4.0
Na ₂ O	3.3
CaO	0.7
Fe ₂ O ₃	0.9
MgO	0.5

パーライトが膨張することを普通発泡すると称される。この発泡についてのべてみよう。

採掘されたパーライトを 粒度をそろえ予熱して乾燥させたものを乾燥精石 (写真2) と称する。この乾燥精石を 800～1,200°C に急熱すると ガラス質が軟化をはじめめるが この軟化と同時に結合水を逸散しようとして膨張が起る。この現象は 丁度ポップ・コーンのできる場合と同じで 数倍～20倍にふくれ 直径1～数mmの丸味を帯びた粒状のものとなる。これを一般に膨張パーライト (Expanded perlite) (写真2) と称されるが 外観おおむね純白で かさ密度は 0.064g/cc という軽量である。そして その代表的な化学成分は表2に示した通りで水分は 0.5% 以下である。膨張パーライトは熱に対して安定で 経時変化がなく 断熱性に優れ比較的安価で 流動性のいい粒状物であることに特長とその意義がある訳である。

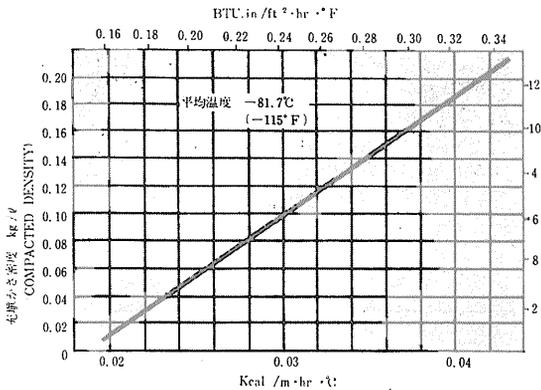
膨張パーライトの物理性について述べてみよう。

A. 熱的性質

1. 比熱 0.20
2. 軟化点 870～1,100°C
3. 融点 1,260～1,350°C
4. 熱伝導率 充填使用状態における 大気圧下 平均温度 -81.7°C (-115°F) の熱伝導率を図1に (タテ軸に 充填使用状態におけるパーライトのかさ密度 ヨコ軸が熱伝導率) さらに 通常用いられる膨張パーライトのかさ密度測定値と その大気圧下平均温度 37.8° (100°F) ～ -184.4°C (-300°F) における熱伝導率の関係を 図2 (ヨコ軸がかさ密度 タテ軸が熱伝導率) に示した。

B. 真比重 2.2～2.4

C. かさ密度 (充填) 約0.064g/cc



第1図 充填かさ密度と熱伝導率(大気圧下)

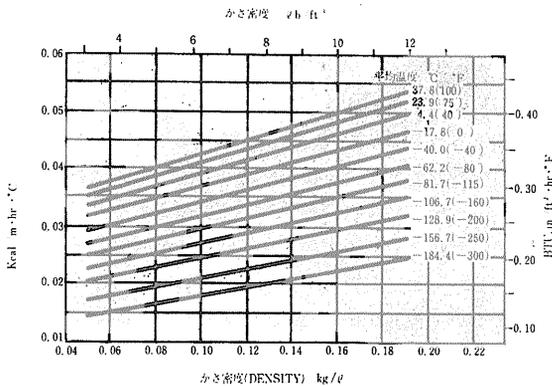
以上の通りで とくに低温における断熱に優れた性質を示すので 空気分離器などの低温設備 液体酸素 LNG LPGなど各種の液化ガスのタンクなどの低温断熱材として保冷用に用いられる訳である。

パーライトの種類と用途

A. 膨張パーライト(写真2)

パーライト製品の用途を大別すると 断熱材用 建築材用 炉過および炉過助剤用およびその他となる。このうち重要なものは 断熱材用(耐火・低温)と建築材用である。前述のようにして製造された膨張パーライトは 断熱材用(耐火・低温)および建築材用をはじめ各種の用途に供されるが もちろんこれがパーライト製品の主流である。これらは粒子を各用途に適した大きさに製造され また選別される。たとえばコンクリート骨材用(軽量骨材用)などは最も粗粒のものが利用される。

用途:耐火断熱材 低温断熱材 充填材 コンクリート骨材 建築プラスター骨材 パーライト塗装 土壌改良剤。この他にとくに最近 ゴルフ場の芝生の下に排水をよくするために使用されるのが急増



第2図 かさ密度と熱伝導率(大気圧下)

している。またコールド・ボックス用には岩綿よりパーライト充填へと変化してきつつある。

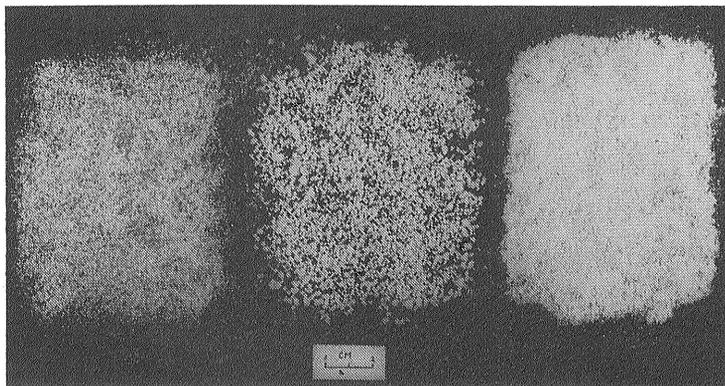
B. 粉碎パーライト(写真2)

膨張パーライトを製造する過程において生じた粉状のものや さらに一部は膨張パーライトを粉碎して製造したものを粉碎パーライトと称される。これは その用途を大別すると 炉過および炉過助剤 各種増量剤 塗装添加剤などに利用される。元来 炉過および炉過助剤としては 珪藻土が利用されるのであるが 炉過の速度の早いことを要求されるもの あるいは早く炉過してかまわないものなどには粉碎パーライトが利用される。この場合は 粉碎パーライトを適当なサイズにし 外観白色にして使用される。なお粉碎パーライトを焼成パーライトと称されることもある。炉過および炉過助剤として使用されるものには つぎのようなものがある。

油脂 鉱油 有機溶剤 塗料 顔料 プラスチック脂料 酸 アルカリ メッキ液 化学薬品 医薬品抗生物質 アルコール 清涼飲料 酢 他。

パーライトの採掘(写真3)

採掘場における採掘は 一般の露天掘りと変らない。しかし重要なことは原岩のなかに どんな形態をなしてパーライトが賦存しているかを正確に把握することである。この把握を誤ると パーライトの可採率を著しく低くすることになり またコストの上昇を招くことにもなる。またそのパーライトの特長も把握して 良質部の可採率をとくに向上することに留意せねばならない。そのためには正確な地形図を作製して



写真② 左 乾燥精石 中 膨張パーライト 右 粉碎パーライト

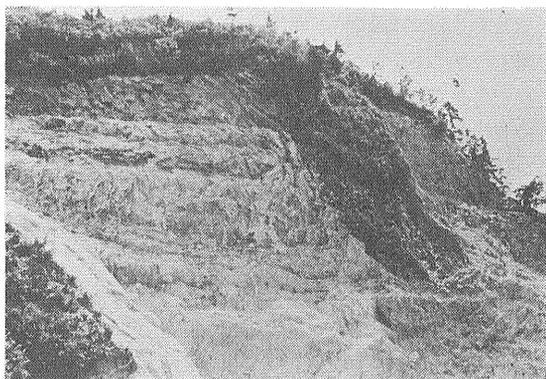
綿密に調査することが重要である。安易に一般の採石の場合の露天掘りと同じに考えてかかると大きな損失を招くことになる。

乾燥工程 (写真4 5)

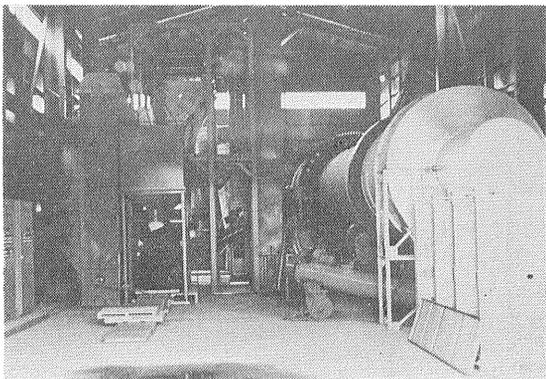
採掘場において採掘された原石は まず乾燥工場に運ばれる。乾燥工場は普通採掘場に近く かつ立地条件に恵まれた(たとえば駅の近く)場所に設置される。工場ではドライヤーによる熱風乾燥(200~500°C)およびサイジングによって適当なサイズの乾燥精石とする。乾燥精石は一定容量の袋詰にして 発泡加工工場に送られて熱加工される場合と 遠隔地に直接送って現地で発泡させる場合とがある。

発泡加工

乾燥工場から送られてきた乾燥精石を 熱加工して発泡させ 膨張パーライトを製造する。さらに用途によっては粉碎パーライトも生産される。この場合 製品を遠距離輸送することは 製品が数倍~20倍にも膨張しており かさ密度からみても著しく不利で 輸送コストが大きな問題であった。しかし シルブリコ・コーポ



写真③ パーライト採掘場(東興パーライトKK 秋田県米内沢鉱山)



写真④ ドライヤーおよびコンテナ・バック詰設備 東興パーライトKK 米内沢乾燥工場

レーション(アメリカ・イリノイ州)によって開発されたパーライトの現場膨張による保冷工法(シルブリコ工法)によってこの難問が解決され 工事現場で発泡加工を行ない 直接タンクに充填できるようになった。したがって発泡加工工場で生産された製品は 近距離輸送の場合や遠距離でも小規模の場合に限られる。

現地発泡加工(シルブリコ工法)

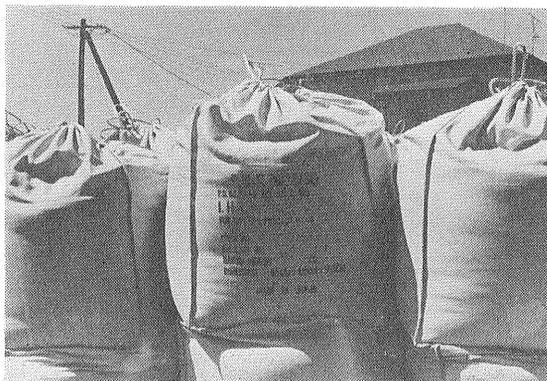
(写真6 図3 4 5)

この方法が行なわれる場合は 遠距離に工事現場がある場合や 比較的近い場合でも大量に必要な場合である。この方法は 膨張パーライトのような かさ密度0.064g/ccという軽量物を遠距離輸送する不利を解決するために考案された方法で 現在米国の特許であるシルブリコ工法が独占して世界的に行なっているものである。この方法は ポーターブル・エキパンダーによって現地で乾燥精石を発泡させ 冷却して充填部に空気輸送するものである。したがって大規模な断熱工事や遠隔地での断熱工事に強味を発揮するが 一方比較的小規模の工事や近距離の場合は 膨張パーライトを工事現場へ運搬しシルブリコの特許装置で断熱部へ空気輸送する方法がとられている。

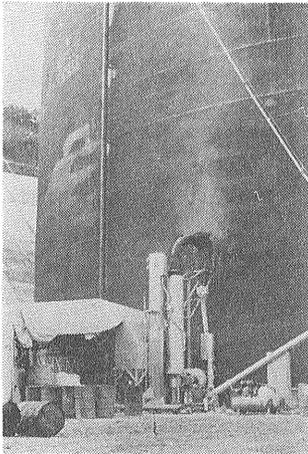
このシルブリコ工法が開発されてからは 低温断熱材としてのパーライトの価値を著しく高め 飛躍的な需要の増大につながったといえる。事実 すでにアメリカでは 200基以上のLNG LPGタンクをはじめ コールド・ボックスなどに実施され 大きな成果を収めており また関心を集めているようである。

タンクのパーライト充填(図6)

LNGやLPGの貯蔵タンクには 容量の大小をはじめ多様な理由によって各種の型式がある。たとえば大型の場合は垂直円筒平底型のドーム・ルーフ型が多く



写真⑤ アラブ首長国連邦アブタビのダス島向け輸出用パーライト(乾燥精石)のコンテナ・バック(1トンづめ) [米内沢乾燥工場]



写真⑥
ポータブル・エキスパンダー
シルブリコ工法による低温断
熱用パーライト充填工事(佐
賀県唐津のLPG用タンク)

小型の場合は球型が多いようである。

これらのタンクに どのようにして またどの部分に膨張パーライトが使用されているかを ドーム・ルーフ型 サスペンデッド・デッキ型を例に示したのが図6である。大きくみて側壁と天井には膨張パーライトの充填が 底部にはコンクリートに混合したパーライト・コンクリートとして使用され 底部の最上部にはパーライト充填も行なわれている。この基礎のコンクリート用パーライトも 遠隔地の場合は現地で発泡加工することが多い。なお側壁には グラスウール・ブランケットを挟んで外殻 内殻に接するが 天井では直接 外殻

内殻に接している。

これらの充填方法は すでにのべたようにシルブリコ工法による空気輸送によって行なわれるが サスペンデッド・デッキ型のタンクでは(アメリカや海外では主流を占める)冷却した後のパーライトの沈降対策としてタンクの側壁にパイプレーションを与へ 強制沈降させながら充填する方法が採用されている。

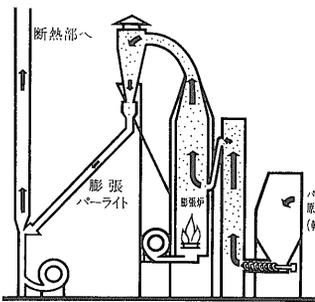
パーライト製品の価格

パーライト製品の価格は 用途をはじめ各種の多様な条件によって いくらかの差異があるようである。しかし大局的に見て 粉碎パーライトは1t 当り約7万円程度とみて差支えないようである。膨張パーライトは普通 5~7kg 単位で販売される場合が多いが 価格は粉碎パーライトと同じ位か あるいは幾分高い程度であろう。しかし輸送費が原因で 末端では高くなってくるようである。

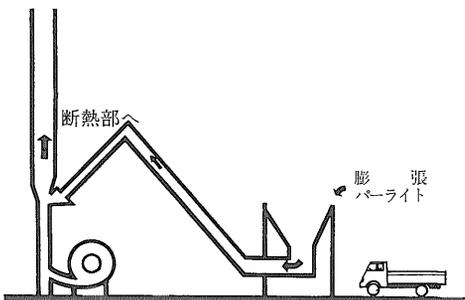
生産量

パーライトに関する詳細な統計的数値は明らかでないのも もちろん推定の域を出ないが 現在わが国で生産されているパーライト製品の総計は 月産約1万t とみて大きな誤りはないものと思われる。この内訳は 膨張パーライトが20~25% 粉碎パーライトが75~80%程度のものである。しかしこの数値も 年々増加するものと思われるので 逆に国内のパーライト鉱山の可採量が注目されなければならないような段階にきているともいえる。

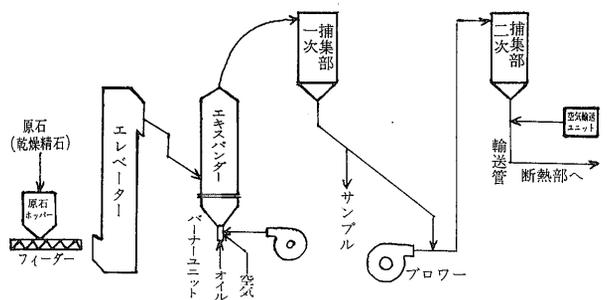
パーライト製品の原単位は 普通0.8以上で 悪くても0.75といわれる。Marekanite型の場合はすこしおちるがそれでも全体で0.7を下まわることはない。したがってこれからみて パーライト原石の採掘量は 月産13,000~15,000t で 多めにみても20,000t を上まわることはないようである。



第3図
工事現場でシルブリコ方式のポータブル装置によって膨張パーライトを生産しただけにタンクの断熱部へ空気輸送する工法一比較的大きな規模の断熱工事や遠隔地での断熱工事に適する



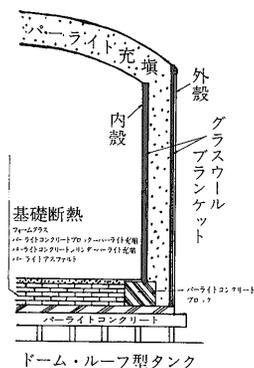
第4図 工場で生産された膨張パーライトを工事現場へ運搬しシルブリコの特許装置で断熱部へ空気輸送する一比較的小規模の断熱工事に適する



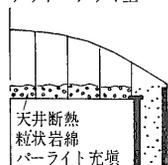
第5図 ポータブル・エキスパンダーのフローシート

世界のおもな産出国

世界のおもな火山ガラスの産出国には 日本・アメリカ・ギリシアをはじめアイスランド・イタリア・メキシコ・フランス・ハンガリーなど火山や火山岩の広く分布する多くの国々がある。なかでもアメリカは代表的な産出国で ニューメキシコをはじめ多くの産地がある。



サスペンデッド・デッキ型



第6図 タンクの断面とパーライト充填

膨張パーライトの生産はさらにシルプリコ工法の特許の関係もあってやはりアメリカが圧倒的に多く 現在までに 200 基以上の LNG LPGタンクをはじめコールド・ボックスなどにシルプリコ自身の実績があることはすでにのべた通りである。さらに中米ではメキシコの Materiales Carr S. A が知られる。欧州では Carbonisation et Charbons がフランスとイギリスに拠点を持って ヨーロッパ アフリカ一帯で実績があり LNG船ジュール・ポール ポラー・アラスカなどの膨張パーライトもここから供給された。アジアから中近東にかけては 昭和45年以來日本の石橋鋳業株式会社が シルプリコの実施権を有してボルネオ島ブルネイの6万 m³ LNGタンクをはじめ多くの実績を有しているが 現在もアラブ首長国連邦アブダビのダス島において 世界最大のLNGタンクのパーライト充填を 秋田県米内沢産のパーライト乾燥精石を使用して行なっている。粉碎パーライトもやはり炉過および炉過助剤用を主として アメリカ(ダイカライト)が代表的な生産国であるが 日本がこれに次ぎ さらにその他の各国でも生産されている。

需給と今後の見越し

パーライト製品の需給を論ずる場合 きわめて重要であり また明らかなことはつぎの2つである。その1つは わが国が有力な輸出国であるということであり他の1つは断熱材用 建築材用 炉過および炉過助剤用をはじめその他の用途も含めて パーライト製品の需要は急増の一途をたどりつつあるが 今後もこの傾向が続くであろうこともまた まず間違いないであろうという

ことである。

これらの用途のうち 最も注目されるのは 骨材用を主とする広義の建築材用と低温断熱材用である。 建築材用は都市再開発や建造物の高層軽量化を中心に 主として国内的な範囲で一層注目されることであろう。

しかし本稿で主題としてのべてきた低温断熱材用はグローバルな単位でのエネルギー問題と関連して論じられなければならない。 もちろんエネルギー対策としては わが国ではサン・シャイン計画が策定され 国の重要施策の1つとして強力に推進されており 事実すでに地熱開発のように小規模ながら軌道にのって実績をあげているものもある。 先進諸国においても たとえばオランダでは 自国産の天然ガスの有効利用を 西独では自国に豊富な石炭資源の液化・ガス化を中心とした利用法の検討といった具合に それぞれの国の客観情勢をふまえた計画を推進して 着々と成果をあげているようである。 しかしLNGの利用は 早急に対応できるエネルギーである点においてきわめて有効で産油国側にとっても まず問題はないであろう。

現在LNGは アラスカ・ブルネイから年間約 300 万 t 導入されているが 今後はアブダビ・インドネシアから続々と導入される方向にあり 総合エネルギー調査会の中間報告では 昭和60年には3,600~6,200万 t に達するとしている。

一方国内では 各地にLPG貯蔵用タンクの建造が あいついでいるが 海外では ボルネオ島ブルネイのLNGタンク建造につづいて現在 アラブ首長国連邦アブダビのダス島において世界最大のLNGタンクが建造されており このタンクには わが国から輸出されたパーライトを使用して低温断熱工事が行なわれているのであるそして 今後アブダビやインドネシアをはじめ その他の地区でも 多くのLNGタンクが建造されることであろう。 このような事実を勘案するに LPG用も含めてパーライトの需要は非常に注目され またこのためわが国が果たすべき役割もきわめて大なるものがあるといえる。

わが国のパーライト資源について 改めてその実態を早急に把握し 開発のため最善の努力を払うべき必要があると痛感する所以である。

(本稿を草するに当り 石橋鋳業株式会社・昭和化学工業株式会社・東興パーライト工業株式会社の各社より 多くの資料・試料・写真・図・表の提供をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。)