公益社団法人 化学工学会 https://www.scej.org/

巻頭言

カーボンニュートラル時代に必要なCO_2とH_2の大量輸送技術

Large-Scale Transportation Technologies of CO_2 and H_2 Required in Carbon Neutral Era

中垣 隆雄

Takao NAKAGAKI（正会員）
1992年3月　早稲田大学大学院理工学研究科機械工学専攻修了
1992年4月　（株）東芝 総合研究所
2004年7月　博士（工学）取得
2007年4月　早稲田大学創造理工学部総合機械工学科 准教授
2012年4月　同 教授
現在に至る
連絡先；〒169-8555　東京都新宿区大久保3-4-1
E-mail　takao.nakagaki@waseda.jp

令和から時は遡って昭和の高度成長期，増え続けるエネルギー需要に対して世界初の発電とガス事業への液化天然ガス（LNG）の共同供給システムが検討された。1969年（昭和44年），アラスカから横浜市の根岸埠頭にポーラアラスカ号[1]が着岸し，LNG時代の幕開けとなった。−162°Cの極低温において耐えうる強度・靭性と断熱性を確保すべく，内槽と外槽にそれぞれ9％Ni鋼とSS400（旧SS41）を用いた二重殻構造の地下タンクや，海水を用いた気化設備などの地上設備および専用輸送船など，開発された技術はその後世界で普及した。現在の世界の年間LNG貿易量は4億トン（2023年）[2]を超え，昭和の開始当時の年96万トンの契約量に対して400倍の規模に発展しており，パイプラインによる天然ガスの取引量とも拮抗してきている。化学工学会の会員も多い臨海部の工業地帯では，カーボンニュートラルコンビナート・ポート構想が各自治体を中心に進められているが，本特集では今後，LNGを追うように取扱量が増えると予想される液化ガスとして，CO_2と水素の大量輸送技術を取り上げた。

海洋国家である日本において，長距離・大量輸送として主流となるのはやはり船舶であり，搭載スペースが限られることからなるべく密度の大きな状態での輸送が望ましい。CO_2や水素は常温常圧では気体であるが，液体ではそれぞれ1/500および1/800程度までコンパクトになるため，圧縮・冷却による液化が有力な選択肢とになる。法規上は高圧ガス保安法第二条第三号に定義された液化ガスに該当するが，実際にはタンク内の気液界面で，圧縮ガスとの混在状態となって封入されている。高い断熱性能のタンクであっても，常温より低温の液化ガスでは常に周囲環境からの侵入熱によるボイルオフガスの発生が避けられないため，その再液化システムが必要となる。また，タンクの気液界面に起因して，船体の運動によるスロッシングやスワーリングなど，タンク内液体の動揺現象への対策も重要となる。

日本におけるフルチェーンのCCSの本格的な社会実装のためには，集中排出源からの分離回収CO_2を臨海部等に一旦集積するCapture Hubと，そこからオフショアに構築されるStorage Hubとを船舶輸送で結ぶHub & Cluster型のモデルが望ましいとされる。先行事例としてノルウェーでは，オスロ近郊のセメント工場と廃棄物熱電併給事業から，年間40万トンのCO_2をベルゲン沖100 kmの2600 m海底下に圧入するNorthern Lights project[3]が2025年中に開始される予定である。同プロジェクトでは，−26°C，1.6 MPaの中温中圧条件で，7500 m^3の積載船で輸送するが，これに対し日本では，容積当たりの積載重量が約1割多く，圧力も低い−50°C，0.6 MPa程度の低温低圧が選定され，NEDO事業として試験船「えくすくぅる」を用いた輸送実証[4]が昨年から開始された。荷役においては，絞り機構のある個所で圧力が低下するとドライアイスが生成する可能性があり，閉塞などのトラブル回避のための操作方法の確立に向けた試験が行われている。

一方，CO_2フリーのエネルギーキャリアとして期待される水素は，LNGに比べて取り扱いに注意を要する点が多い。例えば，都市ガス13Aと同一熱量を得るために流量が約3倍必要であり，爆発等級3で可燃範囲も4〜75％と広い。ガスボンベ内でも超臨界状態で存在し，ジュール-トムソン効果の逆転温度が−80°Cと低く，減圧操作では温度が上昇することから，タンクへの充塡時には予冷が必要となる。このため，分散配置された再生可能エネルギーや地域の未利用資源などに合わせた地産地消型が適していると考えられるが，水素製造コストの安価な海外から大規模に輸入するには，液化水素も選択肢となる。−253°Cの極低温であり，本格的な社会実装にはLNGよりも難しい側面もあるが，加圧・減圧，加熱・冷却，気化・液化など，基礎物性が必須で，安全な単位操作の確立には，化学工学の貢献が不可欠である。

参考文献

1）公益社団法人発明協会 戦後日本のイノベーション（https://koueki.jiii.or.jp/innovation100/）
2）資源エネルギー庁　エネルギー白書2024（https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/pdf/）
3）Northern Lights Project（https://norlights.com/）
4）液化CO_2の連続的な輸送実証試験の開始について，日本ガスライン（株）プレスリリース，https://ngl.co.jp/

著作権法により無断での転載等は禁止されています