

CS-31 軟岩CAESにおける貯槽建設コストのパラメトリックスタディ

（財）電力中央研究所 正会員 川崎 了
同 上 正会員 岡本 敏郎
同 上 正会員 田中 幸久

1. はじめに 従来の揚水発電に代わる新しい電力貯蔵技術として有望視される圧縮空気貯蔵（CAES）ガスタービン発電システムは、送電や燃料確保の面から電力需要地である大都市近郊の軟岩地盤に建設されると有利である。最近、従来の改良型複合発電（ACC）との連携を考えたACC-CAESシステム¹⁾が新たに提案され、従来型およびACC-CAESシステムを軟岩地盤に建設する時の詳細コスト評価を実施して両システムの経済性を検討する必要がある。両システムの大きな違いは発電部のみであり、圧縮空気貯槽部は共通の建設技術である。本報告では貯槽部に着目し、ガスタービンの発電出力、運転時間、貯槽埋設深度、貯蔵圧力、貯蔵方式をパラメトリックに変えた貯槽建設コストの算出を行い、特に貯槽埋設深度、貯蔵方式が建設コストに及ぼす影響について述べる。

2. 貯蔵方式の種類 泥水掘削・鋼管シャフト方式²⁾による圧縮空気の貯蔵方式としては、図-1に示す水置換方式と乾方式の2タイプが考えられる。水置換方式は貯槽内に水を入れ、貯槽下部から地表部の貯水槽へ水が通じている。このため、貯槽内水面と貯水槽水面との水頭差が貯槽内空気圧と等しくなり、空気圧の変動と共に貯槽内水面が上下する。貯槽最深部に貯槽内水面がある場合には、貯槽内空気圧は貯槽にかかる外圧とほぼ等しくなり、貯槽にかかる応力は非常に小さい。ただし、従来の検討によれば、貯槽は内径6m、長さ数百mの鋼管シャフトであることから、貯槽最上部では貯槽にかかる外圧と貯蔵空気圧である内圧の差が数十kgf/cm²程度大きく、ここで貯槽の最大厚さが決定される。以上のように、水置換方式で

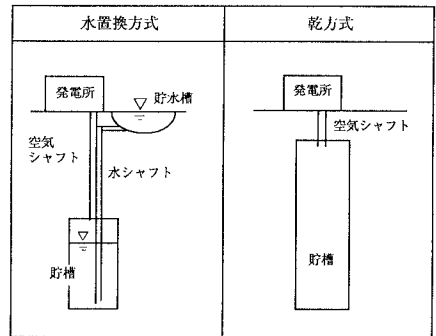


図-1 貯蔵方式の種類

地下貯槽容量を確保するためには、数十kgf/cm²の貯蔵空気圧に対して数百mの大深度地盤中に貯槽が埋設される。

一方、乾方式は貯槽内がすべて圧縮空気で満たされる。また、水置換方式が貯槽内の圧縮空気すべてを使用可能であるのに対し、乾方式では使用空気圧以下になると圧縮空気を利用できない。また、地中深く埋設すると貯槽は薄く経済的となるが掘削費がかさむため、これら両者の比重を考える必要がある。これまでの検討結果によれば浅い方が経済的であり、貯槽は水置換方式より浅い深度400m以浅の地盤内に埋設される。

3. 検討条件 検討した全ケースをまとめて表-1に示す。発電出力が100MWと400MWについては、それぞれ小規模および大規模のガスタービンを想定した従来型CAESを、また700MWについてはACC-CAESを対象とした。同表中の最上段の各項目が、今回検討対象としたパラメータである。左端のケース番号は、例えばW48-7-6の場合、左からW：水置換方式（D：乾方式）、48：貯槽埋設深度400～800m、7：発電出力700MW、6：運転時間6時間の略記である。運転時間については8時間を基本とし、

表-1 軟岩CAESの検討ケース

ケース番号	発電出力	貯蔵方式		運転時間		貯蔵圧力		貯槽埋設深度				
		乾方式	水置換方式	8 hr	6 hr	80 kgf/cm ²	100 kgf/cm ²	GL-5 ～400 m	GL-200 ～600 m	GL-400 ～800 m	GL-410 ～1010 m	GL-645 ～1010 m
W48-1-8 W48-1-6 W48-1-4	100MW		○	○	○	○	○				○	
D04-1-8 D04-1-6 D04-1-4		○		○	○	○	○					
W610-4-8 W48-4-8 W48-4-6 W48-4-4			○	○	○	○	○				○	○
D26-4-8 D48-4-8 D04-4-8 D04-4-6 D04-4-4		○		○	○	○	○		○			
W48-7-8 W48-7-6 W48-7-4	700MW		○	○	○	○	○				○	
D04-7-8 D04-7-6 D04-7-4		○		○	○	○	○					

は、ここでは省略する。

4. 建設コスト算出結果 表-1の検討ケースにより求めた建設工期および建設コストの一覧を表-2に示す。発電出力および運転時間と総建設コストの関係では、当然のことながら発電出力や運転時間が大きいほど総建設コストが高くなっている。また、発電出力が大きくなるに連れ、総建設費の増え方は水置換方式、乾方式ともに小さくなる傾向にある。この理由は、発電出力の増大にともなう掘削費、鋼材費、貯水槽費（水置換方式のみ）の増加割合が小さくなるためである。

水置換方式の場合、40kgf/cm²以上の貯蔵空気圧と地表の貯水槽からの静水圧がバランスするのは400m以深となる。したがって、400m以深で鋼製貯槽に圧縮応力があり発生せず、引張り応力により設計肉厚が決まるように貯槽を設置するには、深度400mから約1,000mの間で考える必要がある。ここでは、長さ400mの鋼製貯槽が深度400～800m、600～1,000mに設置される場合の総建設費とその内訳の様子を図-2で見てみよう。埋設深度が大きいと貯蔵圧力が増えるので貯蔵容積が減少するが、鋼材費の増加は小さく、貯水量が減少して貯水槽の容積およびその建設費が減少する。このため、埋設が深くなっても総建設費の増加は小さい。しかし、埋設深度が大きくなるに従い掘削費が増大するため、総建設費も増えることになる。このことから、水置換方式の最適埋設深度は400～800mである。

一方、乾方式の場合、掘削費は設置深度に対して増大するが、鋼材費は深度200～600mの中間のケースが最も経済的となる。このため、結果として総建設費は浅いほど小さくなるが、深度0～400mと200～600mの場合の費用の差は小さく、それより深いと急に総建設費は増大する。乾方式の場合は、圧縮空気貯槽を地上に設置することが可能である。しかし、容器構造がJIS基準に基づくとして板厚が制限されることから、容器の大きさも小型のものとなる（例えば貯蔵圧力が80kgf/cm²の場合、内径3.4m、長さ20m、厚さ74mm）。このため、貯槽数量が1,500本近く必要と計算される結果になり、総建設費は上述の埋設型乾方式の最も安価なケースの数倍に達する。また、貯槽の連結や基礎地盤対策も必要となり、さらにこの分の費用も考える必要がある。以上により、乾方式では0～400mの埋設深度が最適となる。

水置換方式と乾方式の費用の違いが大きいのは貯水槽の有無によるものである。また、鋼製貯槽費と空洞掘削費については乾方式の方が高い。これは、発電出力を同じ条件としたために乾方式の方が空気量を多く必要とし、貯槽および空洞容量が増えたためである。結局、貯槽建設費では乾方式の方が水置換方式よりも3割ほど高くなる。このため、軟岩地盤での泥水掘削・鋼管シャフト方式においては、水置換方式の方が経済的である。しかし、貯水槽を設置するための敷地が不足する場合には、乾方式の方が適する場合も考えられる。

5. おわりに 今回の検討条件では、貯槽埋設深度400m～800mの水置換方式が、建設コストから見て最も有利であるとの結果となった。その主たる要因は、貯槽埋設深度を大きくすると掘削費が増大すること、乾方式の場合は水置換方式に比べて掘削費、鋼材費ともに大きいこと、地上設置方式では鋼材費が非常に大きく、鋼材費だけで水置換方式の場合の建設費用を上回っていること、等である。

参考文献 1) 森塚秀人, 森永雅彦, 三巻利夫: ACC設型CAES発電システムの検討—熱効率解析と運用方式について—, 電力中央研究所報告, W93009, 平成5年11月。 2) 西 好一, 川崎 了, 藤原義一: 軟岩地盤における圧縮空気貯蔵用空洞建設技術(その1)—鋼管シャフト方式および凍結横孔・凍結拡張空洞方式の検討—, 電力中央研究所報告, U90049, 平成2年12月。

表-2 建設工期とコスト

発電出力	貯蔵方式	CASE番号	工期 (年)	掘削費 (十億円)	鋼材費 (十億円)	貯水槽費 (十億円)	合計 (十億円)
100MW	水置換方式	W48-1-8	4.8	15.451	8.183	5.000	28.634
		W48-1-6	3.8	12.720	6.137	4.000	22.857
		W48-1-4	2.9	9.989	4.094	3.085	17.168
	乾方式	D04-1-8	3.7	18.079	21.041	—	39.120
		D04-1-6	3.0	14.564	15.781	—	30.345
		D04-1-4	2.2	11.046	10.520	—	21.566
400MW	水置換方式	W610-4-8	5.4	62.080	27.822	11.400	101.302
		W48-4-8	4.8	56.286	28.641	14.200	99.127
		W48-4-6	4.8	40.880	20.457	10.716	72.053
	乾方式	W48-4-4	4.8	28.166	14.320	7.700	50.186
		D26-4-8	4.9	75.526	61.717	—	137.243
		D48-4-8	4.8	106.973	67.056	—	174.029
700MW	水置換方式	D04-4-8	4.1	59.437	71.012	—	130.449
		D04-4-6	4.4	43.157	52.601	—	95.758
		D04-4-4	3.3	32.604	36.821	—	69.425
	乾方式	W48-7-8	4.8	71.691	36.824	17.883	126.398
		W48-7-6	4.8	56.284	28.641	14.200	99.125
		W48-7-4	3.8	38.071	18.412	9.400	65.883

※CAES2号は、例えばW48-7-612左から、W:水置換方式、48:貯槽埋設深度400～800m、7:発電出力700MW、6:運転時間6時間を表す。

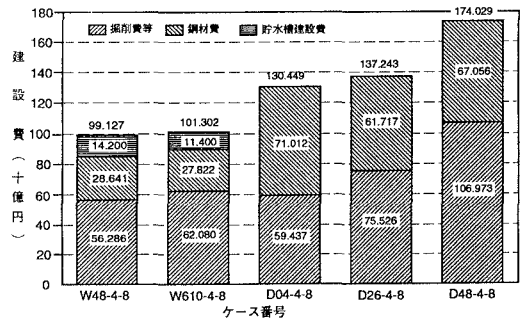


図-2 貯槽埋設深度に対する建設コストの比較