

特 集 論 文

関連するSDGs

定置用蓄電池異常検知
ガスセンサの開発Development of a Gas Sensor for Monitoring Stationary
Storage Batteries小林 宏 規
Kobayashi Hiroki
千 林 暁
Sembayashi Satoru福 永 哲 也
Fukunaga Tetsuya
高 木 潤 哉
Takagi Junya

概要

カーボンニュートラルの実現に向けて再生可能エネルギーの普及が拡大しており、発電機設備と組合せてエネルギーの安定供給に寄与する定置用蓄電池システム (Battery Energy Storage Systems : BESS) のニーズが高まっている。BESSの蓄電池の大部分はリチウムイオン電池 (LiB) であるが、BESSの導入が先行している海外だけではなく、最近では国内でもLiBの異常による火災事故が増加しており、海外および国内で安全基準が規定された。国内ではJIS C4441:2021規格がそれに該当するが、この規格に準拠するためには、要求事項の一つであるBESSの異常発生時 (LiB等の熱暴走異常時など) に発生するガスや火災を検知し、外部へ警報を発するシステムを備えることが必要である。当社は、BESSのコンポーネントとして、LiB異常時に発生するガスを検知するセンサを開発した。本機の特徴とフィールド事例について紹介する。

Synopsis

The use of renewable energy is expanding in order to achieve carbon neutrality, and there is a growing need for stationary battery energy storage systems (BESS), an essential technology for increasing the utilization of renewable energy. Most storage batteries used in BESS are lithium-ion batteries (LiBs). Recently, there has been an increase in fires caused by LiB abnormalities, both overseas and in Japan, where LiBs were introduced earlier. As a result, safety standards have been established both overseas and domestically. In Japan, the corresponding standard is JIS C4441:2021. To comply with the standard, one of the requirements is to have a system that detects gas and fire generated when an abnormality occurs in the BESS (such as when LiB thermal runaway occurs) and that then issues an alarm to the outside. We have developed a sensor for detecting gas generated when an abnormality occurs in LiBs, as a component of BESS. In this report, we will introduce the features of this device and examples of its use in the field.

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの普及拡大やバックアップ電源の需要拡大により、定置用蓄電池システム (Battery Energy Storage Systems : BESS) のニーズが高まってきている。BESSの世界市場は、2019年の30GWhに対し、2030年で370GWh、2050年で3400GWhと10倍ずつ導入容量が増加すると予測されており、2050年で47兆円相当まで拡大する見込みである⁽¹⁾。

BESSの国内市場規模も年々拡大しており、2021年時点で約6200MWhの導入実績がある⁽²⁾。使用する蓄電池の種類としては、エネルギー密度の高さや充放電サイクルの多さからリチウムイオン電池 (LiB) が主流となっている。

2. BESS事故事例と安全基準

海外では、主に米国や韓国などで毎年十数件のBESSの火災・爆発事故が起きている。国内でもこのような事故は発生しており、2024年3月27日に鹿児島県伊佐市のメガソーラー発電施設に併設したBESSで火災が発生し、消防活動中の消防隊員4名が負傷した。この事案を踏まえ、2024年4月26日に経済産業省より「発電所等に施設される蓄電池設備の保安確保の徹底について」の通達が発行され、同日に総務省消防庁からも「電気施設等における警防活動時等の留意事項について」の通達が発行されている。

BESSは、大量の蓄電池モジュールがコンテナに収納されているため、一度出火すると燃焼が継続しやすいという特徴がある⁽³⁾。一般的なBESSの消火方法は、コンテナ内に消火設備を設ける方法とコンテナ外から水を投入する方法である。しかし、これらの消火方法を以てしても全焼に至ってしまうケースがある。また、消火作業による汚染水の発生も懸念されており、最近では積極的な消火活動を行うのではなく、まずは一早く周辺住民の避難を促すことが優先されている。

BESSの火災・爆発事故の増加を受けて、BESSの安全基準を規定した国際規格「IEC62933-5-2:2020」が2020年に発行された。それを国内向けに規定した「JIS C4441:2021」が翌年2021年に発行されている。それによると、BESSの電圧階級によらず電池種として非水溶性電解液電池（LiBなど）が使われており、周辺建物等に人の常駐があれば、可燃性ガス発生を検知するシステムをBESSと同じ場所につけなければならない。さらに、可燃性ガスが検知された場合は、可聴警報器および可視信号によって操作者へ伝えなければならない。つまり、BESSの安全基準に準拠するためには、可燃性ガスを検知でき、かつ接点出力できるような装置が必要である。

LiBの最小構成単位であるLiBセルの熱暴走により可燃性ガスが発生するプロセスを図1に示す。セルの過熱により電解液が蒸発してガスが発生し、セル内の内圧が上昇すると、リリーフ弁が作動してセル内の蓄積ガスが放出される。このガスの主成分は水素、ヒドロカーボン、一酸化炭素などの可燃性ガスである。リリーフ弁が作動した段階で火災を伴うことがあるため、初期の段階でこれらの可燃性ガスを検知・通報して火災による被害を最小限に抑える必要がある。

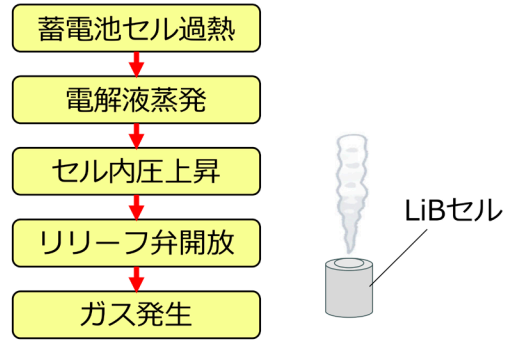


図1 LiBセルの熱暴走プロセス

3. ガス検知センサMES-92/93

今回、当社が開発したガス検知センサ（MES-92/93）を紹介する。図2に外観写真を、表1に概略仕様を示す。本機は複合環境センサラインアップの一機種として開発した。



図2 ガス検知センサMES-92/93

表1 MES-92/93仕様概要

項目	仕様	
	MES-92	MES-93
外形・質量	W50×H80×D120mm(突起部除く)・250g以下	
制御電源	AC80~264V・DC80~143V	
測定項目	ガスセンサ出力・温度	
データロギング	40,000点データをセンサ内部メモリに記録	
機器設定・データ収集	USB端子とパソコンを接続し実施 (専用ソフト無償提供)	
接点出力	a接点 (ガスセンサ出力上昇時に接点出力)	
リモート通信機能	有線 (RS-485)	無線 (920MHz帯マルチホップ)

本機のフロントパネル部に設置しているセンシングデバイスによりLiBの異常時に発生するガスを検知し、

ガスセンサ出力の測定と、ガスセンサ出力上昇時の接点出力（LiB異常検知）を行うことができる。

4. ガス検知センサの特徴的な機能

本機で使用するセンシングデバイスは、以下に留意して選定した。

- ① LiB異常時に発生するガスの確実な検知
- ② 長期連続使用性能の確保
- ③ メンテナンスに対する配慮
- ④ 価格および入手性

これらを満足するセンシングデバイスとして、空気清浄機などで豊富な使用実績があり、比較的安価かつ簡単な検出回路で検知ができる半導体式ガスセンサを選択した。検出回路を図3に示す。半導体式ガスセンサは対象ガスを検知すると内部抵抗が低下する。この抵抗低下は、直列に接続している電測抵抗の電圧上昇により検知することができる。半導体式ガスセンサは、ヒータにより数100℃に昇温した条件で使用される。

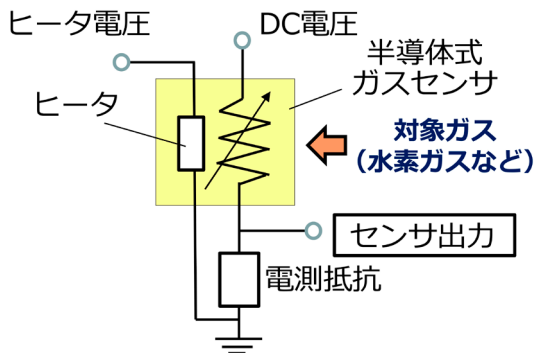


図3 ガス検知回路

4. 1 対象ガスの確実な検知

半導体式ガスセンサは検知するガス種によってさまざまなタイプがある。複数の半導体式ガスセンサについて、LiBセルの異常模擬試験を含む比較検討を実施した。検討の結果、本機には、LiB異常時に発生する水素、ヒドロカーボン、一酸化炭素などの可燃性ガスに幅広く検知性能のある半導体式ガスセンサを採用した。

4. 2 長期連続使用性能の確保

本機に使用する半導体式ガスセンサは、豊富な長期使用実績があり耐久性が確保されているが、感度の温度特性、個体差、および経時変化について考慮する必要がある。

温度特性については、温度測定値からガスセンサ出力を補正することで温度の影響を最小限にした。

その上で、ガスセンサ出力を絶対値で評価するのではなく、相対値で評価することで感度の個体差および経時変化の影響を低減した。具体的なLiB異常検知アルゴリズムを図4に示す。

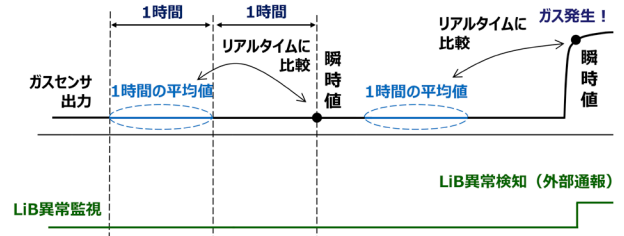


図4 検知アルゴリズム

ガスセンサ出力はLiBが正常であればほぼ一定の値であるが、異常時にガスが生じると出力が上昇する。その際、LiB異常は、「現在値」と「現在値から1時間前～2時間前の移動平均値」の比がしきい値を超過したかで判定する。しきい値は正常時からのガスセンサ出力の上昇倍率であり、初期値は3～5倍としている。この検知アルゴリズムにより、感度の個体差と経時変化の影響を低減できる。なお、しきい値は、複合環境センサラインアップ共通の表示設定ソフトである統合アプリで変更することができる。

4. 3 メンテナンスに対する配慮

4. 2節に記載したとおり、LiB異常検知を相対評価とすることで本機の定期的な校正を不要としている。しかしながら、火災検知器などと同様に、本機に対して定期点検を実施することが望ましい。点検は、市販の水素ガススプレーを用いて異常状態を再現し、本体のガス検知を示すLEDランプの点滅・点灯を確認することで簡単に実施できる。

また、本機はソケット取付けのプラグインタイプである。寿命などによる交換作業も、工具や特別な技術などを要することなく簡便に実施できる。

5. 異常模擬試験

LiBセルと本機を密閉された試験室に設置し、外部ヒータを用いて加熱することで熱暴走状態の模擬試験を行った。LiBセルからガスが発生したときのガスセンサ出力の測定結果を図5および図6に示す。

図5および図6のどちらの事例でも、試験室の容積は、BESSとして通常使用される40フィートコンテナの容積と概ね同等である。熱暴走させたLiBセルと本機は十分距離を取り、発生ガスが十分希釈された状態でも確実に検知されることが示された。ガス発生時の

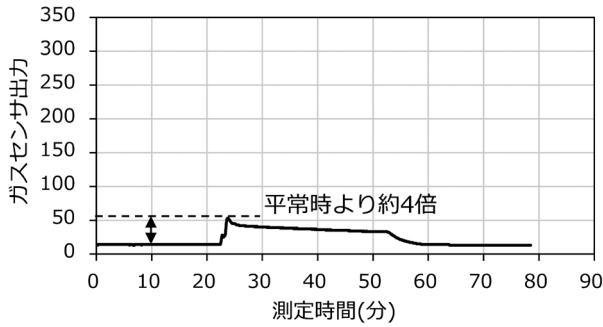


図5 異常模擬試験事例1

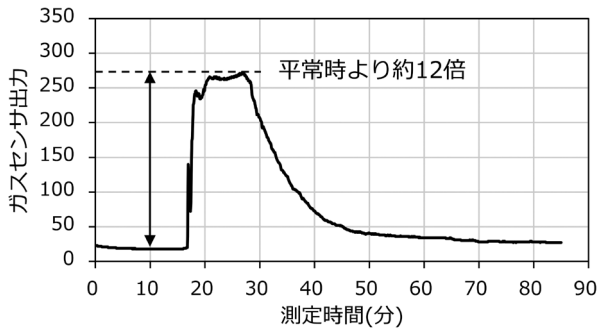


図6 異常模擬試験事例2

ガスセンサ出力の上昇倍率が図5より図6で大きい理由は、LiBセルの容量差が考えられる。

上記結果を含む複数回の異常模擬試験結果について、ガスセンサ出力上昇倍率を縦軸、セル容量/試験室容積（相対値）を横軸としてプロットしたものを図7に示す。

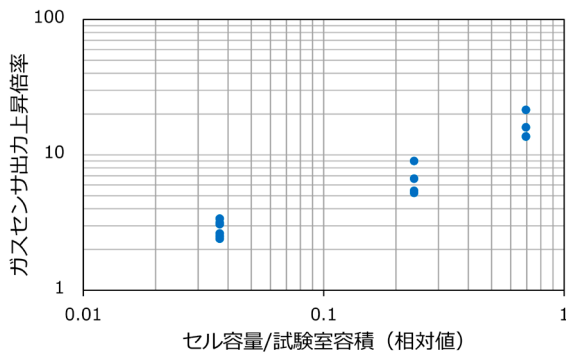


図7 試験条件に対するガスセンサ出力上昇倍率

セル容量/試験室容積が大きくなるほど発生ガスが希釈された後のガス濃度が高くなるため、高いガスセンサ出力上昇倍率が得られている。これより、本機を用いて新規電気設備を監視する場合、セル容量/試験室容積からLiBセル異常時のガスセンサ出力上昇倍率の推定が可能となり、LiB異常検知の適切なしきい値が設定できる。

6. 実運用設備監視結果

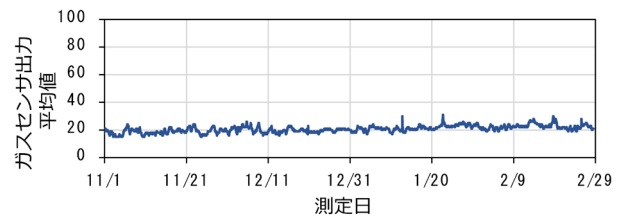
本機を屋外BESSを監視するために設置した。外観写真を図8に、取得した監視データを図9に示す。測定期間は2023年11月1日～2024年2月29日である。図9(a)は1時間毎のガスセンサ出力最大値、(b)は1時間毎のガスセンサ出力平均値、(c)は(a)を1時間前の(b)で割ったガスセンサ出力上昇倍率である。



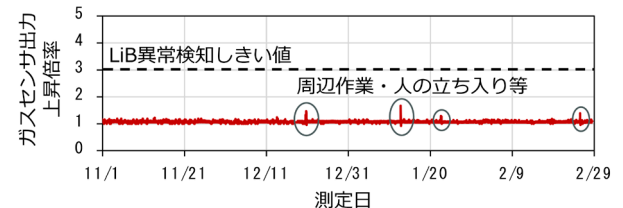
図8 設置状況写真



(a) 1時間毎のガスセンサ出力最大値



(b) 1時間毎のガスセンサ出力平均値



(c) ガスセンサ出力上昇倍率

図9 監視データ

ガスセンサ出力の最大値および平均値ともに変動が確認されたが、ガスセンサ出力上昇倍率はほとんどの期間で1倍程度であった。観測期間内において、LiB異常に起因するガスは実際に発生しておらず、正常に監視できていることが確認できた。また、ガスセンサ出力上昇倍率は観測期間内に数回、1.5倍程度にまで高くなったが、当該時間帯に周辺作業や人の立ち入りが

あったことが確認された。これらを要因とする出力上昇による不要な検知は、LiB異常検知のしきい値を十分高く設定することで防止できる。同様の常時監視は複数設備で実施中である。各監視設備にて観測されたガスセンサ出力上昇倍率の最大値を表2に示す。いずれの監視事例もガスセンサ出力上昇倍率は1.7倍以下であった。

以上より、今回の監視対象の設備に対しては、LiB異常検知しきい値を3倍に設定すれば、不要検知なくLiBの異常監視ができることが分かった。

表2 設備の監視結果

設備	監視期間	ガスセンサ出力上昇倍率最大値
設備A	2023/10/21~2024/4/26	1.67
設備B	2024/4/10~2024/4/26	1.33
設備C	2024/4/10~2024/4/26	1.33
設備D	2024/4/10~2024/4/26	1.25
設備E	2024/4/10~2024/4/26	1.67
設備F	2024/2/19~2024/4/25	1.43

LiB異常検知しきい値および監視データの確認などの設定は、統合アプリで簡単に実施できる。MES-92/93接続時の個別画面例を図10に示す。本アプリは当社のホームページよりダウンロードすることができる。

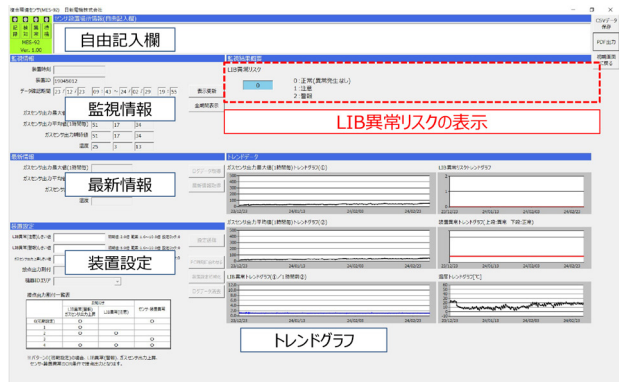


図10 統合アプリ画面

7. 複合環境センサラインアップのご紹介

今回開発したMES-92/93を含む複合環境センサラインアップは表3のとおりである。

表3 複合環境センサラインアップ

No	型番	写真	開発目的	センシング	制御	通信
1	MES-61		・設置環境の「見える化」とスペースヒータ制御 ・MES-01後継機種 (温湿度性能向上)	・温度 ・湿度 ・塩分付着	◎ (SH制御 10A×2)	×
2	MES-52/53		・環境測定+リモート監視とスペースヒータ制御 ・MES-12/13後継機種 (温湿度性能向上)	・温度 ・湿度 ・絶縁抵抗 ・振動頻度	○ (SH制御 3A×1)	○
3	MES-32/33		・設備清掃要否決定 ・絶縁劣化リスク確認	・塵埃堆積 ・絶縁抵抗 ・温度	○ (お知らせ 3A×1)	○
4	MES-42/43		・アリト基板故障リスク確認 ・硫化水素低減効果確認	・腐食リ刃(硫化水素) ・温度	○ (お知らせ 3A×1)	○
5	MES-72/73 ※新製品		・特定地点の温度測定 ・温度異常監視	・局所温度 (3点)	○ (お知らせ 3A×1)	○
6	MES-82/83 ※新製品		・非接触64点マトリクス温度測定 ・温度異常監視	・温度分布 (64点)	○ (お知らせ 3A×1)	○
7	MES-92/93 ※新製品		・リチウムイオン電池異常監視 ・過熱異常時に発生するガスを検知	・発生ガス (H ₂ ・CO・H ₂ ・ C_2H_6 等)	○ (お知らせ 3A×1)	○

電気設備監視のニーズにあわせて、温度、湿度、塵埃、腐食ガス、および過熱などのセンシング項目について監視が可能である。複合環境センサラインアップに共通した製品特長は以下のとおりである。

① 通信機能

計測したデータを通信機能により自動収集・リモート監視が可能である。通信方式は有線または無線タイプより選択できる(MES-61は除く)。

② データロギング

計測したデータを、センサ種により30,000~40,000点(1時間に1回のロギングで3~4年分)内部メモリに記録可能である(MES-82/83は7,200点)。記録したデータはUSBケーブルを介し統合アプリでパソコンに取り込める。

③ 簡単設置

センサ本体は軽量かつコンパクトであり、DINレールに設置可能である。また、汎用ソケットにより簡単に取付け・交換ができる。

複合環境センサラインアップを単体で、あるいは複数台を組み合わせて使用し、その結果を分析することで、電気設備に与える影響の評価と、それに対する改善の提案が可能である。

8. まとめ

当社は、BESSのLiB異常時に発生するガスを検知し、外部へ警報を発報するシステムのコンポーネントとして、ガス検知センサ（MES-92/93）を開発した。本機は半導体式ガスセンサを備え、ガスセンサ出力の測定と、ガスセンサ出力上昇時の接点出力機能を有していることが特徴である。今後、BESSの需要増加とともにその安全性確保への認識が高まり、安全基準であるJIS C4441:2021に準拠することがより一層重要視されていくと考える。そうした背景のもと、本機の需要がさらに高まることを想定している。

当社では、電気設備保守の高度化、効率化実現に向けて、複合環境センサラインアップの開発とフィールド試験によるノウハウ蓄積の取組みを継続的に実施している。今後、さらなる製品開発と診断技術の向上を推進し、SDGsの達成や電気保安のスマート化に貢献していく所存である。

9. おわりに

本開発は、東京電力ホールディングス株式会社と共同で進められた。東京電力ホールディングスの小澤正一氏、大久保裕明氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 経済産業省：「蓄電池産業戦略」(2022.8), https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf (参照：2024/6/10)
- (2) 三菱総合研究所：「定置用蓄電システムの普及と拡大策の検討に向けた調査」(2023.2), https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2022FY/000050.pdf (参照：2024/6/10)
- (3) 田代：「事件事例から学ぶ蓄電池システム火災の消火方法について」, 令和6年電気学科全国大会, 7-050, pp.92-93 (2024.3)

執筆者紹介



小林 宏規 Kobayashi Hiroki
電力・環境システム事業本部
ソリューションシステム事業部
電子機器開発部



福永 哲也 Fukunaga Tetsuya
電力・環境システム事業本部
ソリューションシステム事業部
電子機器開発部 主任



千林 暁 Sembayashi Satoru
電力・環境システム事業本部
ソリューションシステム事業部
電子機器開発部 主幹



高木 潤哉 Takagi Junya
電力・環境システム事業本部
ソリューションシステム事業部
電子機器開発部長