

アイドリングストップ車用鉛蓄電池の技術変遷

Technical Transition of Lead-acid Battery for Idling Stop Vehicles

和田 秀 俊* 細 川 正 明* 大 前 孝 夫*

Hidetoshi Wada Masaaki Hosokawa Takao Ohmae

Abstract

Automotive manufactures have been trying the development of idling stop vehicles to improve fuel efficiency with simple systems and low cost compared to EVs and HEVs. The idling stop system (ISS) requires more and more electric power to lead-acid battery for not only cranking including re-starting but also electric load during the idling stop on the road. The lead-acid battery for ISS must have high durability performance, because the amount of charge and discharge for ISS increases obviously as compared with that of conventional vehicles. It is also necessary to decrease the electrical energy provided by the rotation of vehicle engine as much as possible to improve fuel efficiency. Charging time of the lead-acid battery for ISS needs to be much shorter than that of conventional batteries, and the regenerative charge must be accepted in seconds. Therefore, high charge acceptance is required on the lead-acid battery for ISS. We have improved the durability and the charge acceptance of the lead-acid battery for ISS through optimizing active material compositions, grid design, and additive addition to electrolyte since we started to supply in the market in 2009. As a result, the regenerative charge acceptance is about 3 times higher, and the durability is about 4 times higher than that of conventional batteries. In this report we describe these technical transitions of the lead-acid battery for ISS.

Key words: Lead-acid battery; Idling stop; Regenerative charge acceptance; PSOC

1 はじめに

地球温暖化防止への取り組みの一つとして、自動車からの CO₂ 排出量抑制や燃費改善が強く求められている。日本は、2020 年までに乗用車の燃費を 2009 年度実績に対して 24.1% 改善することを発表しており、EU は、2020 年までに CO₂ 排出量を 95 g/km 以下に抑える規制案を公表している。また、米国は、自

動車メーカーごとの乗用車の平均燃費を 2025 年までに現在の約 2 倍に当たる 23.2 km/L とする燃費規制を発表している。このような状況下、自動車業界は、CO₂ 排出量を抑制し、燃費性能を向上させた環境対応車の開発を急速に進めている。環境対応車として、電気自動車、ハイブリッド車、アイドリングストップシステム搭載車（以下、アイドリングストップ車という）などがあげられる^{1,2}。電気自動車やハイブリッド車は CO₂ 排出量の削減効果が大きい反面、電気自動車においては搭載する蓄電池の性能やコスト、さらには

*グローバル技術統括本部 自動車電池技術部

充電インフラの普及に課題があり、ハイブリッド車においては、その複雑なシステムのためコストが高くなる傾向がある。これに対して、アイドリングストップ車は追加コストが少なく、既存車への付加が比較的容易という優位点があり普及し始めている。アイドリングストップ車は、始動回数が増えるだけでなく、エンジン停止中の各デバイスへの電力供給を鉛蓄電池からおこなう必要があり、従来の始動用鉛蓄電池（以下、従来品という）と比べてその充放電量は格段に増加するため、アイドリングストップ車用鉛蓄電池には高い耐久性能が求められる。さらに、燃費向上のためブレーキ制動時の回生エネルギーを電池に充電する必要があり、数秒から10秒程度という短時間での充電受入性能（以下、回生充電受入性能という）の向上が求められる。

すでに、従来品と比べて耐久性能を向上させたアイドリングストップ車用鉛蓄電池（第1世代）について報告した³が、日々変化する要求に対応し、当社はアイドリングストップ車用鉛蓄電池の改善を第4世代まで進め、従来品と比べて回生充電受入性能を約3倍、耐久性能を約4倍まで向上させた。

本報では、当社のアイドリングストップ車用鉛蓄電池の各世代の開発アイテムと電池性能の進化についてのべる。

2 環境対応車

Fig. 1 に示すように、各自動車メーカーは様々なシステムの環境対応車の開発を進めている。この中で、日本国内のアイドリングストップ車用には、ベント形

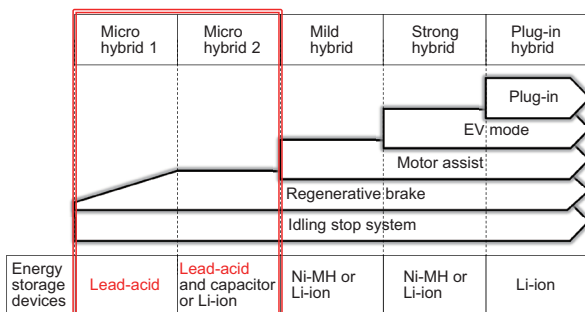


Fig. 1 Categories for hybrid vehicles and energy storage devices.

* いわゆる通称名である。

とよばれる電気分解および蒸発による生成物を大気中へ放出できる開口部をふたに備え、規定の電解液面を示した液面指示線まで流動性電解液を満たした鉛蓄電池（以下、液式鉛蓄電池*という）が一般的に適用されている。また、Fig. 2 に示すように、今後、環境対応車の市場は大きく伸びていき、その中でアイドリングストップ車は大きな割合を占めることが予想される。

当社は市場ニーズに対応し、Table 1 に示すアイドリングストップ車用鉛蓄電池の開発を進めてきた。その結果、Fig. 3 に示すように、現在では多くの自動車メーカーの新規車に採用されている⁴。

3 各世代電池の開発アイテム

Table 2 に各世代で採用した開発アイテムを示す。第1世代はアイドリングストップ車の用途に耐える仕様とするため、従来品の設計を全面的に見直し、各部品を改良した。第2世代では、電池工業会規格

Table 1 Lead-acid batteries for idling stop system produced by GS Yuasa.

Battery types	Capacity at 5 h rate / Ah	External dimensions (Max.) / mm			
		Length	Width	Container height	Overall height
M-42R	32	197	128	202	227
M-42	30	197	128	202	227
N-55	36	238	128	202	227
Q-55	48	232	173	202	225
Q-85	48	232	173	202	225
S-85	55	260	173	202	225
T-110	64	305	173	202	225

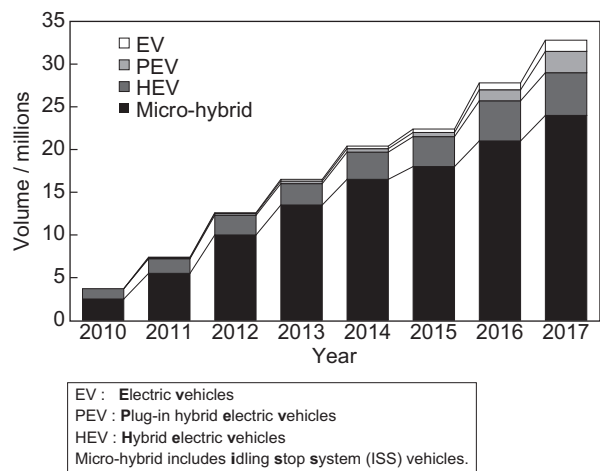


Fig. 2 Estimated market trend for Eco cars in the world by GS Yuasa.

SBA S 0101 アイドリングストップ車用鉛蓄電池⁵の寿命試験等で見られるアイドリングストップ車の用途に特有の劣化モードである負極耳やせ（負極板の集電基部である耳部が厚み方向に対して著しくやせ細る現象）^{6,7}を抑制し、さらに長寿命化した。第3世代では、新規に開発した添加剤を電解液に添加して回生充電受入性能を改善した。第4世代では、正極活物質に新たに開発した添加剤を添加し、セル構成を再度見直すことで、さらなる長寿命化を達成した。

4 世代の進化による電池性能の向上

4.1 回生充電受入性能の改善

回生充電受入性能を確認するため、つぎの条件で試験をおこなった。

(1) SOC(State of charge)の調整：

完全充電状態から 9.6 A (0.2 CA) で 0.5 h 放電(SOC 90%の状態)

(2) 休止：12 h

(3) 充電：25℃, 最大規制電流 100 A, 14.4 V の定電圧で 10 sec








Year	2009	2010	2011	2012				
Vehicle	 AURIS	 Vitz	 ALTO eco	 N BOX	 TANTO	 CX-5	 MIRAGE	
Battery type	Q-55	S-85	M-42R, M-42		N-55, T-110, Q-85			
Battery Design	1st Generation		2nd Generation			3rd Generation		4th Generation

Fig. 3 Development history of GS Yuasa lead-acid battery for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

Table 2 Development items in each generation lead-acid battery for idling stop system.

Items	Development history			
	1st Generation [1st G]	2nd Generation [2nd G]	3rd Generation [3rd G]	4th Generation [4th G]
Launched	2009~	2010~	2011~	2012~
Cell design (Increased surface area)	✓	✓	✓	✓✓
Optimized grid design	✓	✓✓	✓✓	✓✓✓
New additive for electrolyte			✓	✓
Carbon technology	✓	✓	✓	✓
Special processing negative grid	✓	✓✓	✓✓	✓✓
High density of positive active material	✓	✓✓	✓✓	✓✓
New additive in positive active material	✓	✓	✓	✓✓

Note:

- ✓ Improvement as compared with conventional batteries.
- ✓✓ Additional improvement as compared with ✓.
- ✓✓✓ Additional improvement as compared with ✓✓.

回生充電受入性能は、10秒間に充電される電気量を測定して評価した。セル構成や格子デザインの最適化、カーボン技術^{8,9}、電解液への新添加剤などにより、回生充電受入性能は、Fig. 4に示すように飛躍的に向上した。特に第3世代以降に採用した電解液への新添加剤の効果は大きく、添加前に比べて約30%の性能向上を達成した。回生充電受入性能は電解液中の金属イオン種の影響を受けることが知られている¹⁰。新添加剤は負極活物質の表面に作用し、従来の添加剤に比べて充電反応を促進するものと考えられる。

4.2 寿命試験中の回生充電受入性能

実車において、アイドリングストップ車用鉛蓄電池は数年にわたり使用され、その間に回生充電受入性能が低下した場合、燃費が低下する可能性が考えられる。そこで、使用中に回生充電受入性能が低下することを抑制することが重要になる。寿命試験中の回生充電受入性能を確認するため、Fig. 5に示すSBA S 0101の寿命試験を実施した。定電圧充電時の充電開始から10秒間の充電量を測定し、サイクル繰り返しによる回生充電受入性能の変化を確認した。その結果をFig. 6に示す。なお、SBA S 0101に規定されたサイクル数である3万回の2倍に相当する6万回終了時点で試験を打ち切った。第2世代では、試験終了時点で初期比80%以上の回生充電受入性能を維持していた。第3世代では、さらに回生充電受入性能が向上し初期比90%以上となった。開発したアイドリングストップ車用鉛蓄電池は充放電サイクルを繰り返しても高い回生充電受入性能を維持することを確認した。

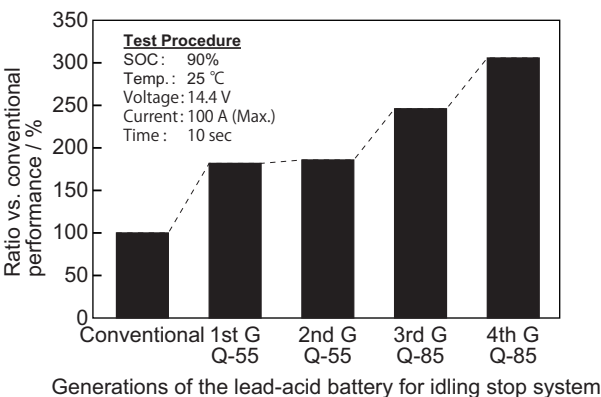


Fig. 4 Historical transition of regenerative charge acceptance performance of lead-acid batteries for idling stop system. The battery type is shown in Table 1. The abbreviation of G is the same terms expressed in Table 2.

4.3 アイドリングストップ寿命性能

SBA S 0101のアイドリングストップ寿命試験を各世代のアイドリングストップ車用鉛蓄電池で実施した。その結果をFig. 7に示す。従来品に比べ、世代を重ねるごとに寿命性能は向上しており、第4世代では、従来品の約4倍というすぐれた寿命性能を示している。

4.4 中間充電状態での寿命性能

先にのべたように、アイドリングストップ車の充放電量は従来品と比べて格段に増加する。その結果、ひんぱんに中間充電状態（Partial state of charge, 以下、PSOC という）で使用される。そのような状態で継続的に使用された場合、液式鉛蓄電池では電解液の成層化が発生する。成層化とは、充電により極板から放出

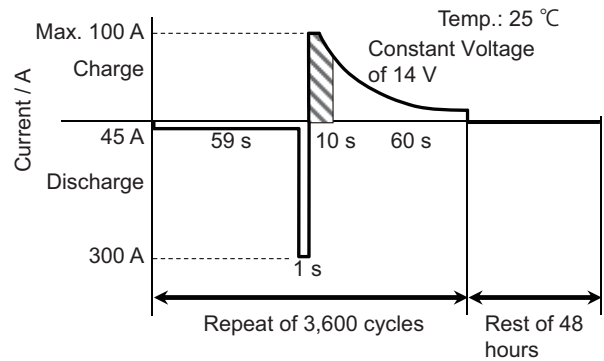


Fig. 5 Life cycle test profile of the lead-acid battery for idling stop system in conformity with standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2006).

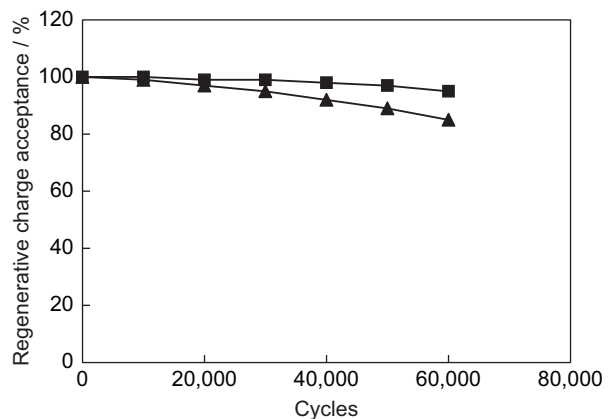


Fig. 6 Regenerative charge acceptance performance during life cycle test for 2nd (▲) and 3rd (■) generation of lead-acid batteries Q-55 and Q-85 type for idling stop system, respectively. The battery type is shown in Table 1.

された高濃度の硫酸がセルの下部に沈降し、セル内の電解液の上部と下部に比重差（濃度差）が発生する現象である。充電量が充分（過充電）な場合、充電末期に極板から発生するガスにより電解液はかくはんされ成層化は解消するが、PSOC では過充電量が少ないため充電中に十分に電解液がかくはんされず成層化が発生しやすくなる。成層化した場合、極板下部の硫酸比重が高くなるため、充電受入性が低くなり負極板下部においてサルフェーションが進行する。このような状態では充放電反応が極板上部に集中し、正極板上部の活物質の劣化も促進され、寿命性能が低下する。

第4世代ではPSOCでの寿命性能改善に取り組んだ。Fig. 8にPSOC アイドリングストップ試験パターンを示す。この試験は、SBA S 0101 のアイドリング

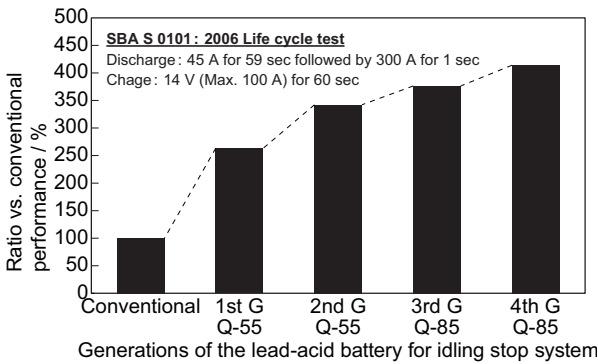
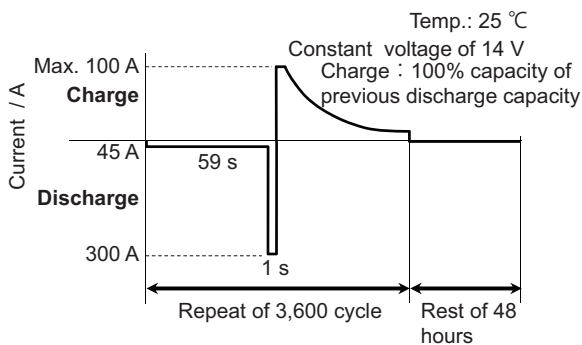


Fig. 7 Historical transition of cycle life performance of lead-acid batteries for idling stop system in conformity with standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2006). The battery type is shown in Table 1. The abbreviation of G is the same terms expressed in Table 2.



Refresh charge : 14.2 V(Max. 80 A) for 10 min every 50 cycles.
Starting and re-starting SOC after refresh charge : 90%

Fig. 8 PSOC life cycle test profile of the lead-acid battery for idling stop system.

ストップ寿命試験を参考に、試験開始時のSOCを90%とし、各サイクルの充電量を直前の45 A放電および300 A放電の合計放電量の100%とした。また、50サイクルごとにリフレッシュ充電を加え、リフレッシュ充電後は、再度SOC90%にするための調整充電をおこなった。

PSOC アイドリングストップ試験の結果を Fig. 9 に示す。第3世代は寿命が短い、第4世代では飛躍的に寿命性能を向上させることができた。Fig. 10 に示すように、第4世代は電解液上部の比重低下が抑制されており、寿命試験中に発生する成層化を第3世代に比べて大きく抑制できることが寿命性能向上の要因であると考えられる。この寿命試験終了後に電池を解体して劣化モードを確認した。その結果を Fig.

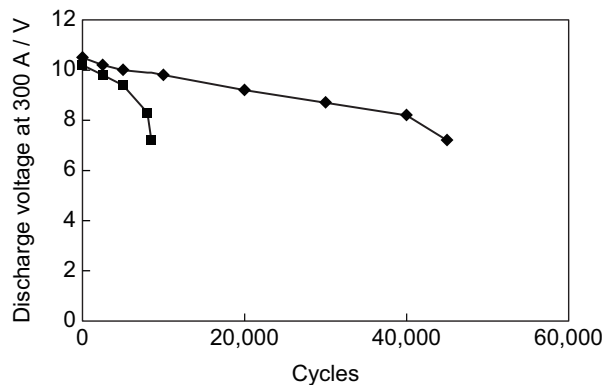


Fig. 9 PSOC life cycle performance for 3rd (■) and 4th (◆) generation of lead-acid batteries Q-85 type for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

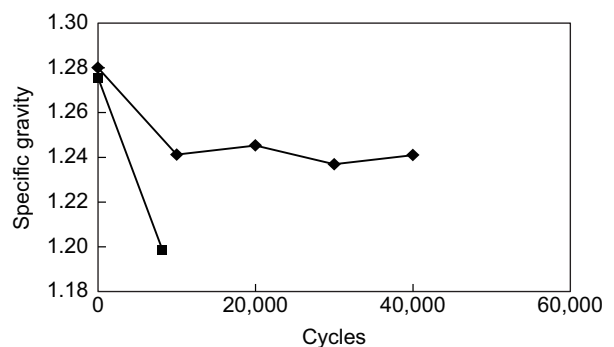


Fig. 10 Specific gravity of upside electrolyte during PSOC life cycle test for 3rd (■) and 4th (◆) generation of lead-acid batteries Q-85 type for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

Fig. 11 に、極板の外観写真を Fig. 12 に示す。Fig. 11 に示すレーダーチャートは当社が従来から用いている解析手法であり解体した正負極板、セパレータおよびセル内部の各劣化モードを0～5の6段階に分類して劣化進行状態を半定量的に表したものである³。第3世代、第4世代とも主な劣化モードは正極活物質の軟化であり、負極活物質のサルフェーションもやや進んでいた。第4世代は、第3世代の5倍以上のサイクル数にも関わらず正極板の軟化状態は同程度であった。Fig. 12 の極板写真から、第3世代は正極板上部の軟化・脱落が特に進んでいるのに対して、第4世代は正極板上部の軟化は進んでいるものの脱落の程度は小さく、放電反応の上部への集中が緩和されるため、上部の軟化が抑制されるものと考えられる。また、格子腐食および負極サルフェーションはわずかに増加する程度であった。

5 実車検証

当社製アイドリングストップ車用鉛蓄電池 S-85 を新車搭載したトヨタ・ヴィッツ（1.3 L, SMART STOP パッケージ）で実車走行試験をおこなった。Fig. 13 に実車走行時の車速とエンジン回転数の一例を示す。車速が 0 km/h となった時点でエンジンが停止しており、本測定中は、アイドリングストップが毎回、作動していた。そのときの電池の電圧と電流変化を Fig. 14 に示す。エンジン停止中に電池は放電し、電圧が

徐々に低下している。再始動時には、瞬間的に 500 A を越える電流で放電され、電圧の落ち込みが認められた。その後、電圧が立ち上がり走行時には電池は充電されていた。

Table 3 に実車走行試験中の総走行距離と試験期間を示す。1.2 万 km 走行し、1.5 年経過した時点で電

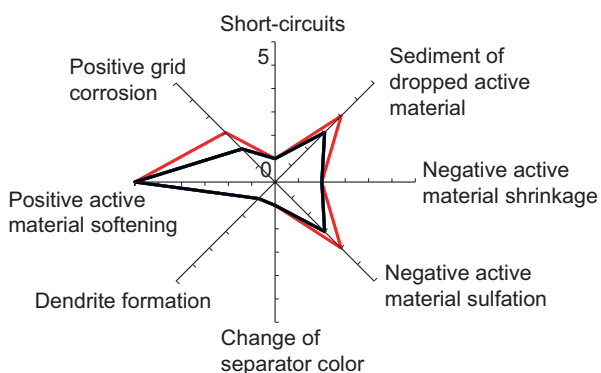


Fig. 11 Failure mode analysis for 3rd (black line) and 4th (red line) generation of lead-acid batteries Q-85 type for idling stop system after PSOC life cycle test. The state of various failure modes is evaluated by six ranks with the extent of their deterioration phenomena: Rank 0 and 5 stand for no sign and severest state, respectively. The battery type is shown in Table 1.

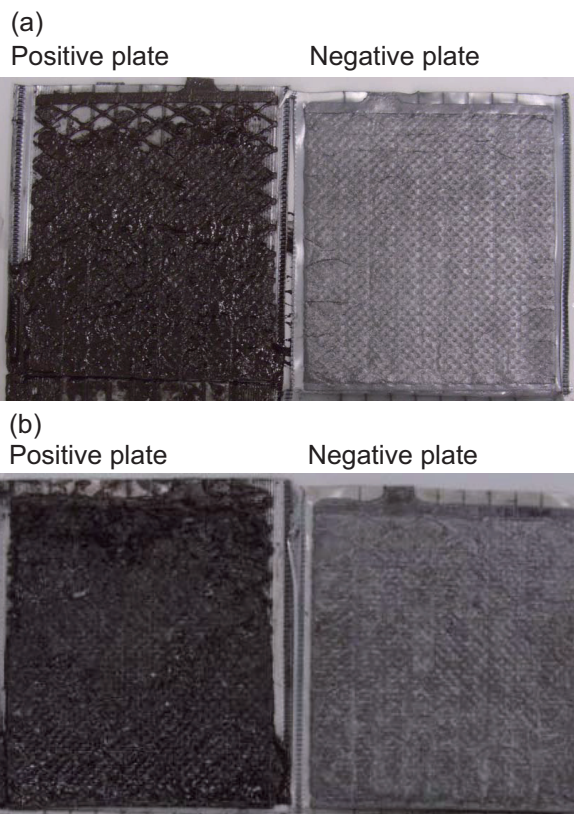


Fig. 12 Outer appearance of positive and negative plates for 3rd (a) and 4th (b) generation of lead-acid batteries Q-85 type for idling stop system after PSOC life cycle test. The battery type is shown in Table 1.

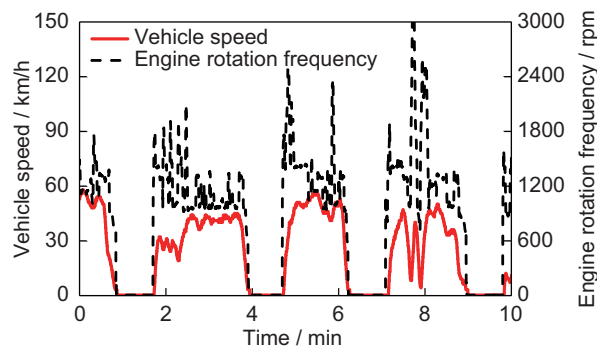


Fig. 13 Vehicle speed and engine rotation frequency during field driving test using TOYOTA “Vitz (1.3L, Smart stop package)” with the lead-acid battery S-85 type for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

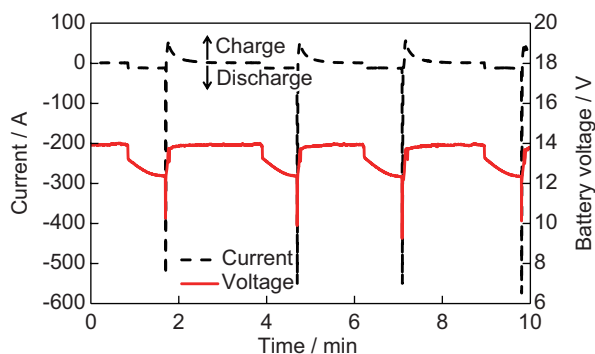


Fig. 14 Battery voltage and current during field driving test using TOYOTA “Vitz (1.3L, Smart stop package)” with the lead-acid battery S-85 type for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

Table 3 Mileage and test periods during field driving test using TOYOTA “Vitz (1.3L, Smart stop package)” with the lead-acid battery S-85 type for idling stop system. The battery type is shown in Table 1.

Vehicle	Vitz
Battery type	S-85
Mileage	12,000 km
Test period	1.5 years

池を良品回収したが、試験終了までの間、試験開始時と同様に問題なくアイドリングストップが作動していた。

Table 4 に回収した電池の性能調査の結果を示す。1.2万 km 走行し、1.5年間経過したにも関わらず、ほぼ新品に近い性能であった。

Fig. 15 に解体調査結果を示す。極板の劣化はほとんど進んでいなかった。また、負極耳やせ等の他の部品の劣化もほとんど見られず、当社のアイドリングストップ車用鉛蓄電池の設計妥当性を実車においても確認できた。今後、さらに各世代の電池について実車検証を進めていく。

6 まとめ

アイドリングストップ車では、従来車と比べて充放電量が増加するため、搭載する鉛蓄電池には高い耐久性能が求められる。さらに、CO₂ 排出削減・燃費向上のために回生充電受入性能の向上も求められる。当社は、これらの市場ニーズに応えるべく継続的に電池の改良を進め、現在では第4世代のアイドリングストップ車用鉛蓄電池を市場に投入している。第4世代

Table 4 Performance of the lead-acid battery S-85 type for idling stop system after field driving test using TOYOTA “Vitz (1.3L, Smart stop package)”. The battery type is shown in Table 1.

Performance items	Ratio(%) v.s. initial performance	
Capacity 5 h rate	Before charge	95%
	After charge	99%
High rate discharge at 300 A at -15 °C	Voltage after 5 s	99%
	Duration	91%
Regenerative charge acceptance		96%

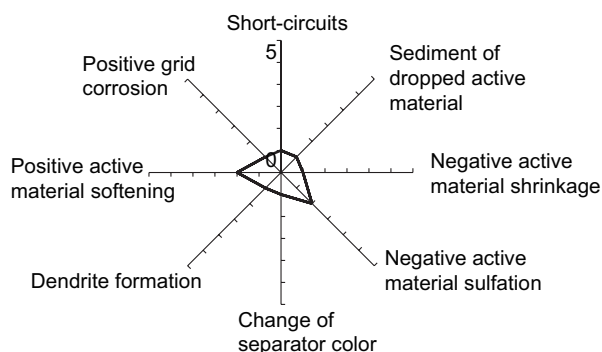


Fig. 15 Failure mode analysis of the lead-acid battery S-85 type for idling stop system after field driving test using TOYOTA “Vitz (1.3L, Smart stop package)”. The battery type is shown in Table 1.

では、従来品と比べて回生充電受入性能を約3倍、耐久性能を約4倍まで向上させることができた。今後さらに厳しくなるCO₂排出規制・燃費規制に対して、各自動車メーカーも車の開発をさらに進めていくと考えられる。それにともない変化するアイドリングストップ車用鉛蓄電池に対するニーズに応えるべく、さらなる開発を進めていく所存である。

文献

1. 近藤祐輔, 荻野幸二, 自動車技術, 66 (8), 32 (2012).
2. 大角重治, 塩見正昭, GS Yuasa Technical Report, 5 (1), 8 (2008).
3. 秦公樹, 沢井研, 石本信二, 近藤猛, 鈴木基行, 稲垣賢, 大角重治, GS Yuasa Technical Report, 6 (1), 7 (2009).
4. (株)ジーエス・ユアサ コーポレーション, Website, <http://www.gs-yuasa.com/jp/news/index.asp>.

5. 電池工業会, アイドリングストップ車用鉛蓄電池 SBA S 0101 (2006).
6. 坪井裕一, 沢井研, 塩田匡史, 平井信充, 大角重治, *GS Yuasa Technical Report*, **4** (2), 10 (2007).
7. T. Takeuchi, K.Sawai, Y.Tsuboi, M.Shiota, S.Ishimoto, N.Hirai, and S.Osumi, *J. Power Sources*, **189**, 1190 (2009).
8. K.Nakamura, M.Shiomi, K.Takahashi, and M.Tsubota, *J. Power Sources*, **59**, 153 (1996).
9. 竹内泰輔, 沢井研, 松村拓児, 今村智弘, 石本信二, 大角重治, *GS Yuasa Technical Report*, **4** (1), 22 (2007).
10. 新井勇貴, 藤田晃平, 岡田祐一, 高間徹郎, 大角重治, *GS Yuasa Technical Report*, **8** (2), 22 (2011).