

# 新型（第5世代）アイドリングストップ車用 鉛蓄電池の開発

## Development of New (5th Generation) Enhanced Flooded Lead Acid Battery for Idling Stop Vehicles

小 渕 晋\* 京 真 観\*\* 稲 垣 賢\*\*  
竹 内 泰 輔\* 和 田 秀 俊\*\*

Susumu Obuchi Masaaki Kyo Satoshi Inagaki  
Taisuke Takeuchi Hidetoshi Wada

### 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. Therefore, lead-acid battery for ISS must have high durability performance and high charge acceptance. We have improved the durability and higher charge acceptance of the lead-acid battery for ISS and we have supplied lead-acid battery for ISS from 1st to 4th generation in the market until now. However, for further improvement of the fuel efficiency, we need to develop the next generation lead-acid battery for ISS which has higher durability and higher charge acceptance. We investigated the failure mode of 4th generation lead-acid battery for ISS after the field driving test and confirmed the main failure mode was sulfation of the negative plates. We succeeded in the development of the next 5th generation lead-acid battery for ISS to suppress sulfation by new carbon technology and optimized additives in negative active material.

*Key words*: Lead-acid battery, Idling stop, Sulfation of negative electrode, Field driving test.

## 1 はじめに

地球温暖化防止対策の一つとして、自動車からのCO<sub>2</sub>排出量削減のため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%改善することを目標に掲げている。それに対し自動車業界は、燃費性能を向上させた環境対応車の開発を急速に進め、2014年度には平均燃費は22.4 km/ℓとなり2015年度のガソリン乗用

\* (株)GSユアサ グローバル技術統括本部  
技術開発本部

\*\* (株)GSユアサ グローバル技術統括本部  
自動車電池技術部

車の燃費基準相当レベル (16.8 km/ℓ) を大きく上回り、2020年度の燃費基準相当レベル (20.3 km/ℓ) も達成した<sup>1</sup>。しかし、燃費規制の強化は今後も進展し、各国で2025年度に向けてさらなる厳しい目標値が検討されている。

これらを実現可能にするためには、環境対応車、すなわちハイブリッド車や電気自動車、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) の開発が必須となる。この中でも、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であるため、多くの自動車メーカーで採用が進んだ。また、近年ではさらなる燃費向上のため、各自動車メーカーは様々なアイドリングストップシステムの開発を進めている。例えば、メインバッテリーに加えて、鉛蓄電池、リチウムイオン電池、キャパシタといった電源をサブバッテリーとして搭載した2電源システムが開発され、既にそのシステムを搭載した車両が発売されている。2016年8月に日産自動車が発売開始した新型セレナは、サブとメイン電源の両方に当社製アイドリングストップ車用鉛蓄電池を搭載している。このようにアイドリングストップシステムは多様化が進んでいるが、コスト面や小型車への搭載しやすさを考慮した場合、今後もアイドリングストップ車用鉛蓄電池を一つ用いたシンプルな1電源系のアイドリングストップ車が主流であると予想されている<sup>2</sup>。

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、従来車とくらべて鉛蓄電池の充放電量は格段に増加する。充放電量が増加すると鉛蓄電池の劣化も進むため、従来の鉛蓄電池 (以下、従来品という) にくらべてアイドリングストップ車用鉛蓄電池には高耐久性が求められる。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るため、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。

これまでに当社は、従来品とくらべて耐久性が約4倍、回生充電受入性能が約3倍のアイドリングストップ車用鉛蓄電池 (第4世代) を開発し市場へ供給してきた<sup>3</sup>。しかしながら、さらなるアイドリングストップ車の燃費改善に貢献するため、より高耐久性・高信頼性を目指した次世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池を開発する必要がある。そこで、当社は第4世代のアイドリングストップ車用鉛蓄電池の市場での

劣化モードを調査し、その改善を主目的として開発を進めた。本報では、市場での鉛蓄電池の劣化を格段に抑制することを可能とする第5世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池について報告する。

## 2 市場でのアイドリングストップ車用鉛蓄電池の使われ方

一般社団法人日本自動車工業会の統計によると、近年の自動車の主用途に占める「日常の買い物・用足し」の割合は増加を続け、4割を超えて第1位となっており、この変化に伴って月間走行距離の平均値は年々減少し、2001年で450 km、国内アイドリングストップ車が普及し始めた2009年で430 km、第4世代のアイドリングストップ車用鉛蓄電池の発売を開始した2011年で410 km、2013年で380 km、直近の2015年で350 kmとなっている<sup>4,5</sup>。このことから、アイドリングストップ車の普及拡大と同時期に月間走行距離は大幅に減少していることが窺える。また、同統計によると、乗用車に占める軽自動車の割合は、「日常の買い物・用足し」を主用途とするユーザーが3割を超えた2001年で19.5%、4割を超えた2011年で34%、直近の2015年で36%となっており、Fig. 1に示す通り、「日常の買い物・用足し」用途の拡大と軽自動車の普及拡大には相関がある。前述の通り、コスト面や搭載のしやすさから、アイドリングストップ

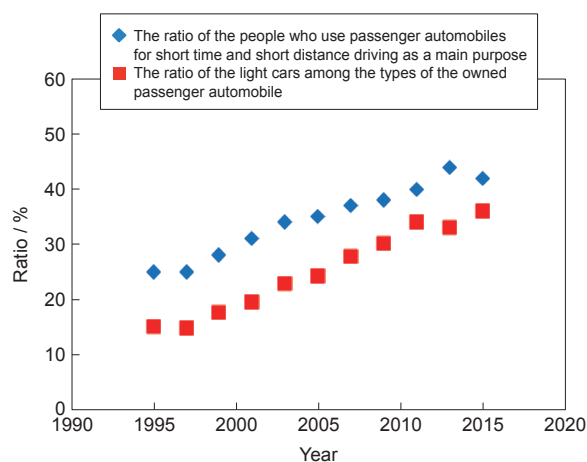


Fig. 1 Annual changes of the ratio of the people who use passenger automobiles for short time and short distance driving as a main purpose for the main drivers and the ratio of the light cars\* among the types of owned passenger automobiles.

\* light car is defined as the displacement is below 660 cc.

車は軽自動車を含む小型車を中心に普及してきた背景があり、アイドリングストップ車の使われ方についても、月間走行距離が少ない利用環境であることが推察される。

他方、アイドリングストップ車用鉛蓄電池にとっては、月間走行距離が少ないことによる充電機会の減少、中間充電状態での車両休止期間の増加といった影響が考えられる。このような使用環境においては、放電生成物である硫酸鉛が蓄積しやすく、車両休止期間においては硫酸鉛の結晶化が進み、サルフェーションと呼ばれる劣化が進行すると予想される。Fig. 2 にサルフェーションが進行した負極板内部のSEM像を示す。10  $\mu\text{m}$  を越える大きな結晶の硫酸鉛が確認できる。サルフェーションが進行した場合、充電受入性が低下するため、車両燃費の低下や鉛蓄電池の短寿命化につながる。

上記予測のもと、実際にアイドリングストップ車両から当社の第4世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池を回収し、解体調査により劣化モードを調査した。調査電池は、A社軽車両搭載品〔搭載期間9.8か月、走行距離2218 km（月間走行距離換算で226 km）〕、B社軽車両搭載品〔搭載期間9.3か月、走行距離2017 km（月間走行距離換算で217 km）〕であり、月間走行距離が少なく、近年の使用状況に類似していると考えられるものを選定した。

解体調査結果をFig. 3に示す。この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<sup>6</sup>。前述の予測通り、いずれの電池

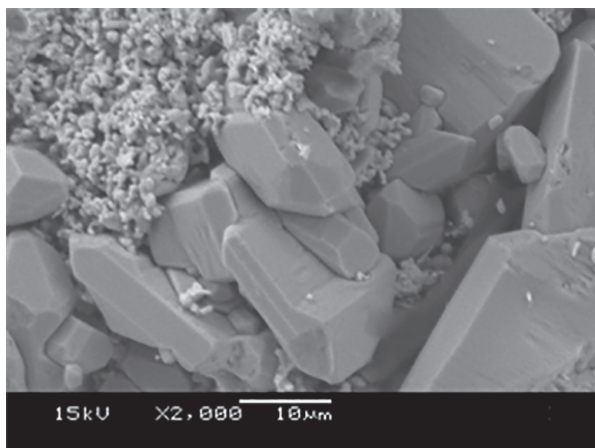


Fig. 2 SEM image of negative plate with progressive sulfation.

においても第1の劣化モードは負極活物質のサルフェーションであった。

この結果および今後もユーザーの月間走行距離の減少が続くと予想されることから、第5世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池の開発課題を、負極活物質のサルフェーションの改善とした。

### 3 第5世代の開発アイテム

当社は、これまでサルフェーションが進行するメカニズムの解明を試みてきた<sup>7,8</sup>。その結果、鉛/硫酸鉛電極の充電反応過程における、反応可能距離がサルフェーションに大きく影響を及ぼすことを見出した。反応可能距離とは、硫酸鉛の還元反応が起こり得る臨界的な距離のことである。Fig. 4-(0)に示すように、反応可能距離から外れた、反応できない硫酸鉛がサルフェーションの原因となると考えられる。したがって、サルフェーション抑制のためには、反応可能距離を長くする、あるいは硫酸鉛を小さくし反応可能距離内に硫酸鉛を収めることが有効であると考えられる。

当社はこれまで負極添加剤について様々な検討を行ってきた<sup>9,10,11</sup>。それらの開発を通じて、サルフェーションを改善するためには以下の2つのアイテムが有効であることを見出した。

- (i) 新カーボン技術の導入
- (ii) 負極活物質添加剤の最適化

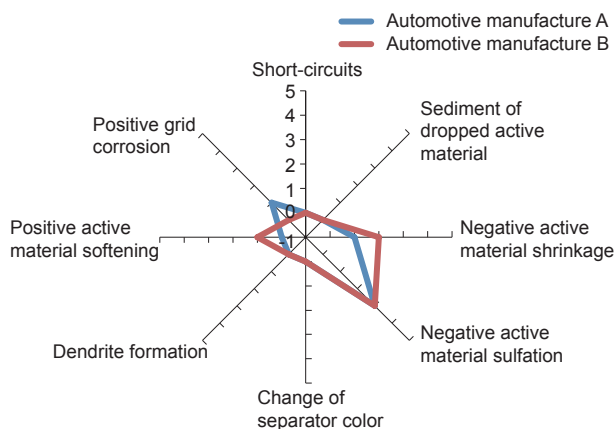


Fig. 3 Failure mode analysis of 4th generation M-42 type lead-acid batteries after field driving test. The battery type is shown in standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2014). The state of various failure modes is evaluated by six ranks with the extent of their deterioration phenomena : Rank 0 and 5 stand for no sign and the severest condition, respectively.

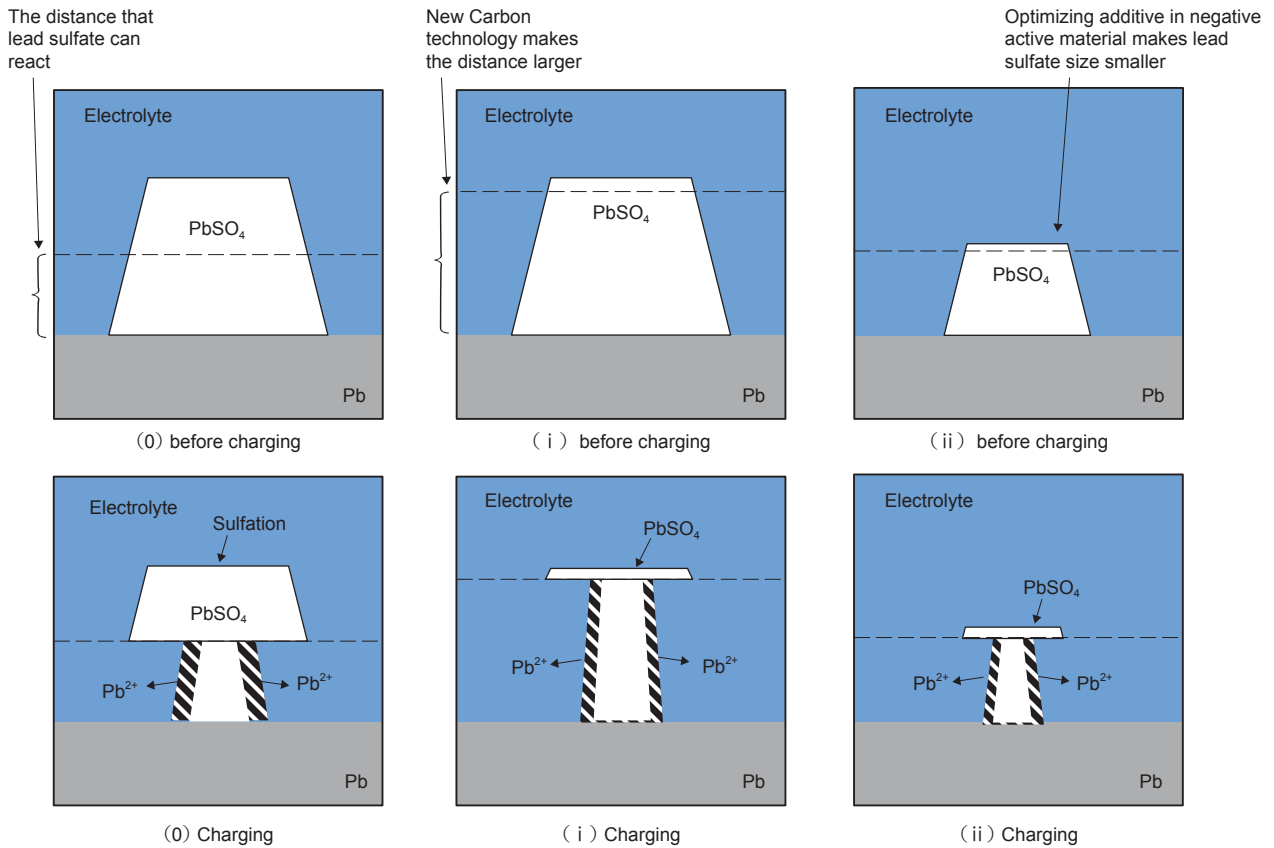


Fig. 4 Proposed reaction model of Pb / PbSO<sub>4</sub> electrode during charging.  
 (0) shows the model without any new items in negative active material.  
 (i) shows the model with new carbon technology in negative active material.  
 (ii) shows the model with optimizing additive in negative active material.

Table 1 Features of the various carbon materials.

Carbon	Particle Size	Conductivity	Productivity of Negative Plate	Cost
A	Small	×	△	○
B	Large	×	△	△
C	Large	△	×	×
D	Large	○	○	○

(i) 新カーボン技術の導入では、種々あるカーボン材料について様々な検討を行った。その一例を Table 1 に示す。その中から量産面や性能面で優れたカーボン D を採用した。カーボン D は、従来のカーボンよりも導電性に優れ、粒径が大きい。そのため反応可能距離が長くなり、より広範囲での充電が可能になると考えた (Fig. 4-(i))。また、放電時に硫酸鉛生成時に核となる(ii)負極活物質添加剤を最適化することで、放電時に生成される硫酸鉛を反応可能距離内の大きさに微細化することで、硫酸鉛の充電を容易にした (Fig. 4-(ii))。両者の効果により、硫酸鉛の充電反応性が飛躍的に向上し、負極サルフェーションを

改善することが可能であると考え、第 5 世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池に適用した。

#### 4 サルフェーション加速試験

第 4 世代および第 5 世代の電池工業会規格 SBA S 0101 アイドリングストップ車用鉛蓄電池 (2014)<sup>12</sup> で規定されている M-42 電池をサルフェーション加速試験 (Fig. 5) に供試し、解体調査を行った。サルフェーション加速試験はアイドリングストップ車の走行条件を模擬した寿命パターンである。

Fig. 6 にサルフェーション加速試験中の車両始動放電に相当する 250 A 放電末電位の推移を示す。第 5 世代の放電末電位は第 4 世代よりも良好に推移していた。つぎに、サルフェーション加速試験に 300 サイクル供試した時点での負極板内部の SEM 像を Fig. 7 に示す。第 4 世代が 10 μm 程度でかつ結晶性の高い硫酸鉛が見られたのに対し、第 5 世代は 5 μm 以上の結晶が成長した硫酸鉛は見られなかった。これらの

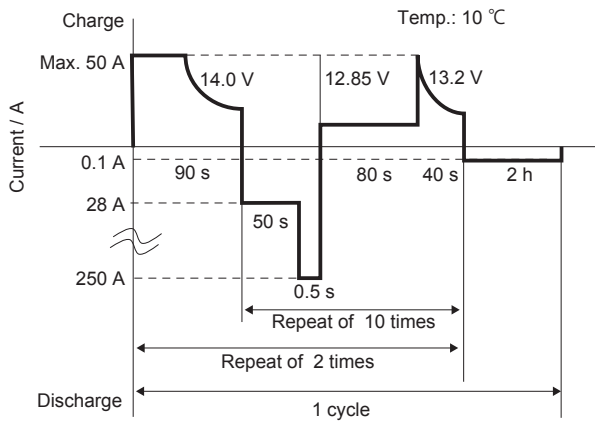


Fig. 5 Profile of accelerated sulfation test.

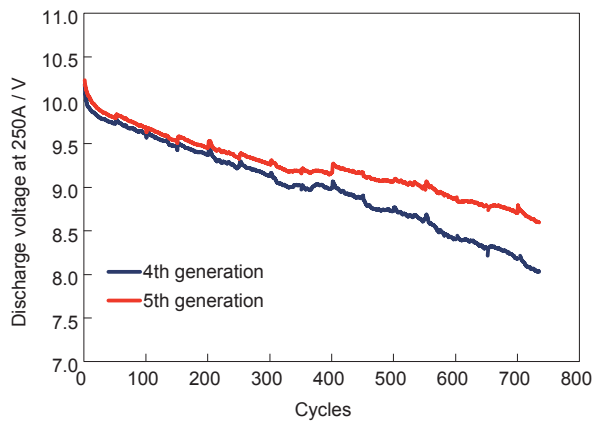


Fig. 6 Sulfation accelerated test performance of 4th generation and 5th generation M-42 type lead-acid batteries. The battery type is shown in standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2014).

ことから、第5世代で導入した新技術はサルフェーション抑制に効果があることを確認できた。

### 5 実車での効果確認

アイドリングストップ車用第4世代および第5世代のM-42鉛蓄電池を搭載したA社製アイドリングストップ車にて実車走行試験をおこなった。搭載期間は10ヶ月、走行距離は2200 kmとほぼ同等の履歴となるよう試験した。回収時の開回路電圧は、第4世代で12.29 Vであったのに対し、第5世代では12.40 Vと高い電圧を維持しており、第5世代の方がより高い充電状態であった。また、内部抵抗は実車試験前にはそれぞれの世代で5.3 mΩで等しかったが、実車試験後では、第4世代で7.2 mΩ、第5世代で6.2 mΩと、第5世代では内部抵抗の増加が抑制されていた (Table 2)。Fig. 8 に実車走行試験後の負極板内部のSEM像を示す。硫酸鉛の形態は大きく異なっ

Table 2 Internal resistance (AC-IR) and open circuit voltage (OCV) of 4 th and 5 th generation M-42 type lead-acid batteries before and after field driving test. The battery type is shown in standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2014).

	Before field driving test		After field driving test	
	AC-IR / mΩ	OCV / V	AC-IR / mΩ	OCV / V
4 th generation	5.3	12.72	7.2	12.29
5 th generation	5.3	12.73	6.2	12.40

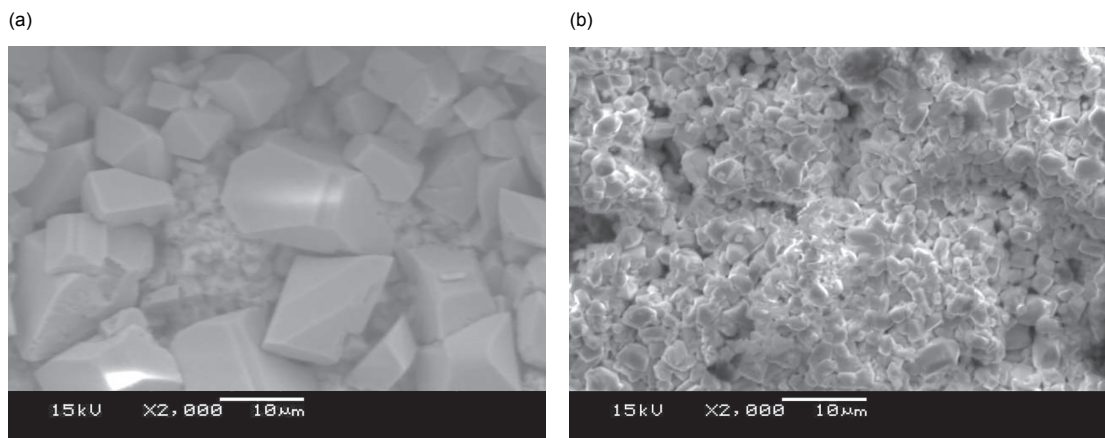


Fig. 7 SEM image of negative plate after 300 cycles of accelerated sulfation test, (a) 4 th generation, (b) 5 th generation lead-acid batteries M-42 type. The battery type is shown in standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2014).

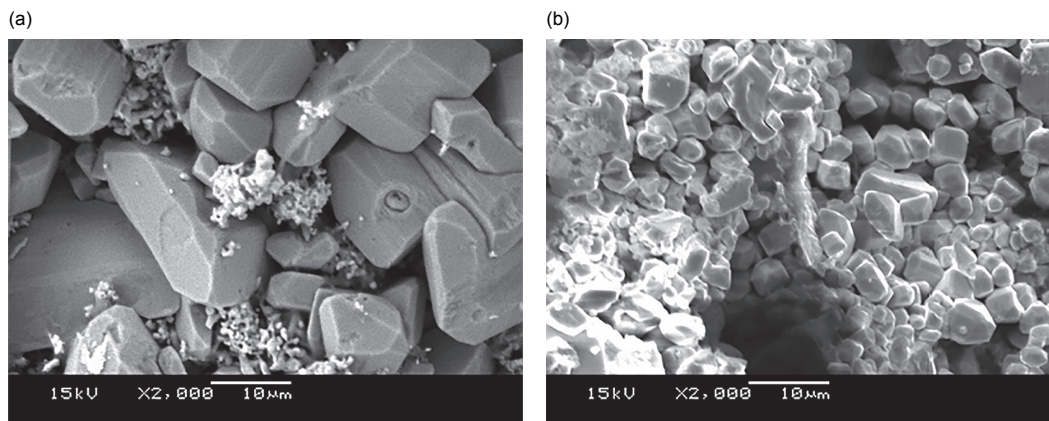


Fig. 8 SEM image of negative plate after field driving test, (a) 4th generation, (b) 5th generation M-42 type lead-acid batteries. The battery type is shown in standards of Battery Association of Japan (SBA S 0101 : 2014).

おり、第4世代では10 μm以上の大きな結晶の硫酸鉛が確認されたのに対し、第5世代は5 μm以下の大きさの硫酸鉛が確認された。これは、4項のサルフェーション加速試験と同様の傾向であった。これらのことから、市場での実車走行においても、第5世代で導入した新技術はサルフェーション抑制効果があることがわかった。

## 6 まとめ

当社は、これまでに Table 3 に示す通り、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。この

たび、第5世代アイドリングストップ車用鉛蓄電池の開発にあたり、(i) 新カーボン技術の導入、及び(ii) 負極活物質添加剤の最適化を実施した。その結果、市場でのアイドリングストップ車用鉛蓄電池の主要劣化モードである負極サルフェーションを著しく抑制することができた。

今後、さらなる燃費規制や車両の電装負荷の増大にともない、アイドリングストップ車用鉛蓄電池に対する性能面・信頼面のニーズがますます高まっていくと考える。当社はこのような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。

Table 3 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]	5th Generation [5th G]
Launched	2009~	2010~	2011~	2012~	2017~
Cell design (Increased surface area)	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
Optimized grid design	✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
New additive for electrolyte			✓	✓	✓
Special processing negative grid	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
High density of positive active material	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
New additive in positive active material	✓	✓	✓	✓✓	✓✓
Optimized additives in negative active material	✓	✓	✓	✓	✓✓
Carbon technology	✓	✓	✓	✓	✓✓

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

## 文 献

1. Japan Automobile Manufacturers Association, Inc Website, <http://www.jama.or.jp/eco/earth/index.html>
2. 矢野経済研究所 新世代アイドルストップシステム市場の徹底分析 2015.
3. 和田秀俊, 細川正明, 大前孝夫, *GS Yuasa Technical Report*, 9 (2), 16 (2012).
4. 一般社団法人 日本自動車工業会 2007 年度 乗用車市場動向.
5. 一般社団法人 日本自動車工業会 2015 年度 乗用車市場動向
6. 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).
7. 新井勇貴, 堤誉雄, 山口義彰, *GS Yuasa Technical Report*, 11 (1), 24 (2014).
8. 新井勇貴, 平川憲治, 山口義彰, *GS Yuasa Technical Report*, 12 (2), 18 (2015).
9. 沢井研, 船戸貴之, 渡邊仁, 和田秀俊, 中村憲治, 塩見正明, 大角重治, *GS Yuasa Technical Report*, 3 (1), 12 (2006).
10. 伴郁美, 堤誉雄, 山口義彰, *GS Yuasa Technical Report*, 10 (1), 13 (2013).
11. 濱野泰如, 伴郁美, 堤誉雄, 山口義彰, *GS Yuasa Technical Report*, 11 (2), 31 (2014).
12. 電池工業会, アイドリングストップ車用鉛蓄電池 SBA S 0101 (2014).