

プロジェクトプレ終了評価報告書

評価委員会開催日：平成22年4月15日

評価委員：（敬称略、五十音順）

岡田益男 東北大学大学院 工学研究科 副学長・教授

長村光造 （財）応用科学研究所 理事・特別研究員

神谷信行 （株）KMラボ

小長井誠 東京工業大学大学院 理工学研究科 教授

確定年月日：平成22年6月21日

プロジェクト名	高信頼性、高性能を兼ね備えた全固体リチウム二次電池
研究責任者の所属・役職・氏名	MANA ナノマテリアル分野ソフトイオニクスグループ グループリーダー 高田和典
実施予定期間	平成20年度～平成22年度
研究目的と意義	<p>リチウム電池は、携帯電話やノート PC の電源などの高度情報化社会を支える携帯情報機器のキーデバイスであり、今後はさらに大型化を通じた電気自動車などへの展開によりエネルギーの高効率利用を促進し、省エネルギーに資するものとしての要望も高まっている。しかしながら、電解質に可燃性の有機溶媒を用いるリチウム電池にとって安全性の課題は本質的なものであり、電池の高エネルギー密度化や大型化と安全性の確保はトレードオフの関係にある。そのため、携帯機器の消費電力の増加に対応するにも、電池の高エネルギー密度化はほぼ限界に近づきつつあり、また、大型化をすすめるにあたっては安全性に関する懸念を完全に払拭する必要がある。</p> <p>本プロジェクトは、電解質に不燃性のセラミックス固体電解質を用いた全固体リチウム二次電池を高性能化し、市販電池以上の性能を達成することで高い安全性を備えたりチウム電池の実用化につなげ、これら社会的要望に応えようとするものである。さらにこの高性能化の過程においては、イオン伝導体ヘテロ界面、ナノスケールの電極材料に取り組み、「ナノイオニクス」という比較的新しい学際分野の進展に寄与するものである。</p>
研究内容	<p>「イオン伝導体ヘテロ界面の研究」（サブテーマ1）において理想的な薄膜界面の作製を行い、電気化学的手法、分光学的手法などを用いて電極／電解質界面の特性化を進め、ヘテロ界面におけるイオン伝導機構を明らかにするとともに、その低抵抗化の方策を確立することで、全固体リチウム二次電池の高出力化を図る。さらに、「高容量負極の開発」（サブテーマ2）では電気化学的還元により、金属ナノドメインをその場生成する金属硫化物の探索を行い、金属ナノドメインの特性化、電極反応機構の解明を通じ高容量負極を開発する。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>電極と固体電解質界面に形成される空間電荷層のキャラクタリゼーションを行い、その制御法を確立することで電池の高出力化を見通す。さらに固相マトリックス中にその場形成するナノドメインを電極活物質とすることで負極の高容量化を図り、オールセラミックスの全固体リチウム二次電池において、市販リチウムイオン電池を上回る出力性能とエネルギー密度を達成する。</p>
平成20年度～平成22年プレ終了評価時までの主な研究成果（アウトプット）及び研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）： 界面修飾層形成による2桁の電極抵抗低減を達成した。 「イオン伝導体ヘテロ界面の研究」では、電池材料の薄膜合成技術を基にした理想界面の作製の中で、2桁～3桁の抵抗低減効果を確認した。これまでの研究における抵抗低減効果は最も顕著なもので1/50～1/100であることを考慮すると、この効果は全固体リチウム電池の出力性能を2倍以上に引き上げるに足るものとなっている。また、界面修飾層形成法についても異種元素置換法やイオン注入法などの有効性を確認した。 「高容量負極の開発」では、気相合成法により電子伝導経路を原子レベルで均一に分散させることで、Li_2SiS_3において従来の黒鉛系負極を用いた全固体リチウ</p>

	<p>ム電池のエネルギー密度を2倍以上に高めることのできる性能を確認した。</p> <p>2) 研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）： NIMSで開発した高出力界面を用いた電池は、いくつかの企業で実用化研究が開始されており、本研究で得られる界面イオン伝導に関する知見はその研究を強く推進していくものである。また、界面イオン伝導の重要性はSOFC（固体酸化燃料電池）の分野でも強く認識されるに至っており、このような異なった電池系に対する波及効果も期待される。 「高容量負極の開発」で導入した電子伝導経路を原子レベルで均一に分散させる手法は、他の絶縁性電極活物質に対しても適用可能であるのみならず、非平衡系という新たな材料開発の可能性を示唆するものである。</p>
<p>プレ終了評価時の進捗状況とそれから予測したプロジェクト終了時の目標の達成度合い及び自己点検</p>	<p>さまざまな界面設計を導入することにより、全固体リチウム電池の出力性能向上には一定の成果を得たが、この効果の起源、界面イオン伝導機構の解明については、さらに詳細な研究の余地を残している。 「高容量負極の開発」で得られたLi_2SiS_3の性能は目標値を満たすものとはいえ、コンバージョン反応が比較的貴な電位領域で生じるなどの改善の余地を残すものである。しかしながら、絶縁性の高い物質から電極活性を引き出す手法は本研究で確立されており、コンバージョン電位に対するアニオン種の影響などの研究を進めることで、一層の性能向上が可能であると考えられる。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 （計画はきめ細かったか、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネジメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、など）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全固体リチウム電池の開発に、実験室レベルで成功したことは評価される。 ・「自己点検・評価」の項目に書かれているように、サブテーマ1および2において概ね研究計画は達成されている。2分野の研究はそれぞれ目的に向けて補完的で、全体として効果的であった。 ・特に界面に課題があることを見出し、その解決法を開発した。 ・薄膜合成技術を確立し、さらに性能の向上を目指すための方策が検討されている。全固体リチウム電池の界面におけるイオン導電性を明らかにすることは、電池の性能を上げるために非常に重要なことである。 ・公的および民間からの外部資金の調達も、順調のようであった。民間資金による研究成果がどのように共同研究契約先に還元されたのか、具体的な報告が欲しかったが、共同研究契約の制約により公表できないものと了解する。 ・マンパワーがやや不足している。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 （研究責任者の自己評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されそうか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、など）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点で、80%から90%の目標達成率になっており、残り1年で最終目標は達成可能と思われる。課題は明らかになっている。 ・全固体リチウム電池の開発のために、界面イオン伝導現象に着目して研究を推進したことは評価される。このプロジェクトが終了するまでに、目標の成果が得られることを期待する。 ・電解質、電極の界面のメカニズムを解明し、新たな薄膜界面材料の開発を行った。 ・理想的な薄膜界面を持つLiCoO_2/緩衝層/硫化物固体電解質の系において電気抵抗を大幅に低減させ出力性能を向上させたこと、およびLi_2SiS_3においてコンバージョン反応から合金化反応を逐次的に起こさせることにより高い還元容量を得ることに成功している。これらの成果は高い達成レベルにある。スクラップアンドビルド型電極材料の実用化についての報告があるとよい。 ・硫化物固体電解質については硫化水素の発生の危険性があり、他の安全な新しい固体電解質の開発も今後、視野に入れるべきである。

<p>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）</p> <p>（世界レベルの質の成果が出たか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果は、問題点は何か、など）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全固体リチウム電池の実用化の可能性を、学術的成果において示した意義は大きい。 ・得られた研究成果からは、全固体リチウム電池を汎用的なものにする波及効果が見込まれる。 ・参加者の少ないプロジェクトとしては、IF（インパクトファクター）の高い論文誌に数多くの論文が発表されており、成果は十分ある。 ・論文レベルの成果はあるが、受賞とかプレス発表がないのは、客観評価として、やや物足りない。 ・民間企業との連携の成果については共同研究契約による制約のため、どのような報告がないのは残念である。 	
<p>④総合評価</p> <p>（研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイントがあれば追加してコメント）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全固体リチウム電池の作製に道を拓くプロジェクトとして評価される。 ・新たな材料を用いた全固体リチウム電池の開発を試み、少人数のプロジェクトにも関わらず、期待される結果を得ている。 ・平成22年度の最終成果を待たないと総合評価はできないが、最終年度において、実験的に成果の得られている電極/電解質界面の高出力化について理論的研究に注力すること、スクラップアンドビルド型構造の電極の実用化のメドをつける研究に重点を置くことを期待する。 ・液体を使ったものに比べて、どのくらい信頼性が向上するのか判断できる基準が欲しい。固体化したことによる、安全性向上に対する実際の貢献度を測る尺度が欲しい。この点で、産業界との連携は重要である。 	
<p>総合評価点 （10点満点）</p>	<p>8.8（小数第二位以下四捨五入）</p>	
<p>各委員の評価点 （10点満点）</p>	<p>8, 9, 9, 9（順不同）</p>	
<p>評価点</p>	<p>評価</p>	<p>評価基準</p>
<p>10</p>	<p>S</p>	<p>全ての点において模範的に優れている。</p>
<p>9</p>		<p>計画を変更することなく継続すべきである。</p>
<p>8</p>	<p>A</p>	<p>総合的に優れている。</p>
<p>7</p>		<p>一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある</p>
<p>6</p>		<p>平均的なプロジェクトである。</p>
<p>5</p>		<p>継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではない。</p>
<p>3</p>		<p>計画を見直して継続すべきである。</p>
<p>2</p>	<p>C</p>	<p>大きな問題があり、継続を中止すべきである。</p>
<p>1</p>		<p>プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。</p>