

令和3年度環境省委託業務

令和3年度脱炭素型金属リサイクルシステムの
早期社会実装化に向けた実証事業
北九州地域での全体最適 LIB リユース・リサイクル
技術・システム実証
委託業務

成果報告書

令和4年3月

三菱マテリアル株式会社

要 約

【目的】

リチウムイオン電池(以下、LIB)は、電気自動車(EV)、ハイブリッド車(HV)等の普及により、国内においても使用量は増加傾向にある。これらの次世代自動車の廃車両に伴い発生する廃 LIB の処理方法は、国内で様々な検討が行われている。その多くは熱処理により LIB 中の有機溶媒を揮発分解した後、機械的処理により正負極材(活物質)とシート等の金属材料を選別回収するという方法を取る。また、活物質からの Co、Ni 回収は、乾式・湿式の様々な方法が実証されている。

一般に LIB は多数のセル又はモジュールに制御用回路を組み合わせたユニットとして搭載される。LIB ユニットの構成する素材をリユース/リサイクルすることによる CO₂ 排出量削減効果は大きく、LIB を循環するシステムの構築が求められており、全体的なリユース/リサイクルシステム実証が重要となる。

本事業では、廃車両からの LIB ユニット取り出しから Co、Ni 回収まで、構成素材毎の適正なリユース/リサイクルの一貫処理の実証を福岡県北九州市で行い、CO₂ 排出量削減効果を評価し地域循環共生圏に貢献することを目的とする。

【令和 3 年度実証事業の内容】

本事業では、車両からの LIB ユニット取り出し工程から Co、Ni 回収工程まで、構成素材ごとの適正なリユース・リサイクルの一貫処理の実証を福岡県北九州市で行い、CO₂ 削減効果を評価した。本年度は、廃車両からの LIB ユニットの取り出し、LIB ユニットのリユース・リサイクルの仕分けのための劣化診断、リサイクル向け LIB ユニットの放電・解体、LIB セル又はモジュールの熱分解、破碎・選別、活物質からの Co、Ni 回収・精製からなる一連の処理プロセスの検討を行った。

(1) LIB ユニット取り出し自動化

LEAF と FIT3 の 2 車種を対象とし、取り出し作業の省力化を目的に、LEAF では車両の傾転、ねじ外し装置を実装した LIB ユニット取り出し自動化装置を、FIT3 では LIB ユニット取り出しのための助力装置をそれぞれ設計・製作した。これらの自動化装置及び助力装置は正常に作動し、LIB 取り出し作業の安全性及び省力化に寄与できることを確認した。

(2) LIB ユニット劣化診断

LIB の劣化診断技術として、現在開発されている技術の比較検討を行った結果、現時点での本実証への適用・導入は困難であると判断し、今後も技術開発の動向を調査・注視することとした。また、劣化診断後の蓄電池としての用途に関する考察も実施した。

(3) LIB ユニットの放電

LIB ユニットの安全かつ効率的な解体並びに熱分解での熱暴走の回避のため、LIB ユニットの状態で放電の実証を行い、安全かつ効率的な放電手法を検討した。また、回生式放電装置の導入により、商用電力量の削減効果を確認した。

(4) LIB ユニット解体自動化

省力化を目的として、産業用ロボットを活用した解体作業の自動化について、実際の LIB ユニット解体作業により得られた作業手順を作成し、解体作業の一部に自動化を組み入れた LIB ユニット解体ラインの構成を立案した。

(5) LIB モジュールの熱分解

LIB 内の有機物である電解液を無害化し、後段の破碎、選別にて Co、Ni を高効率で分離、回収するための熱分解炉としてバッチ炉の仕様を検討し、製作、設置を行った。また、熱分解挙動の確認試験を行った。

(6) 熱分解後の破碎・選別

昨年度実施した破碎機、選別機、設備レイアウトの検討結果を基に、詳細設計を行い、二軸せん断ライン、ハンマー破碎選別ラインの製作、設置を行った。また、ハンマー破碎選別ラインにおける破碎選別能力の確認を行った。

(7) Co、Ni の回収

LIB 熱分解、破碎・選別後に回収した活物質から Co、Ni を湿式回収するプロセスを改善検討し、Co、Ni を高効率、高純度で回収可能であることを実証試験により確認した。

(8) 事業における環境影響改善効果、CO₂ 排出量削減効果の評価

環境影響改善効果及び CO₂ 排出量削減効果の検討を行うための評価シナリオを見直した。本事業で用いる装置及び設備の試運転や装置最適化試験等から運転データを収集し、環境影響改善効果の評価並びに LIB 取出し時・輸送時の CO₂ 排出量の評価を行った。

(9) 事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討

金属リサイクルビジネス活性化に関して、LEAF・FIT3 以外の次世代車(xEV ; HEV、PHEV、EV、FCV) への展開、xEV 以外の自動車への展開、蓄電ビジネスへの展開、レアメタル等回収ビジネスへの展開などの横展開の可能性を整理し、今後の出口戦略に向けた検討を行った。

【令和 4 年度実証事業の計画】

令和 4 年度は、LIB のリユース／リサイクル各工程における装置及び設備を効率的に用いて一貫処理実証を推進、深化させる計画である。

本事業で用いる装置及び設備の操業データを収集し、工程単位及び一貫処理での環境影響改善効果、CO₂ 排出量及び経済性評価を試算する。

Summary

[Objective]

The quantity of lithium-ion batteries ("LIBs") in use is on the increase in Japan, as in many other countries, due to the proliferation of next-generation vehicles such as electric vehicles (EVs) and hybrid vehicles (HVs). Various solutions are being examined in Japan for processing the end-of-life LIBs that will be generated by end-of-life next-generation vehicles. Most of these use a thermal process for volatile separation of the organic solvent in the LIB, following which a mechanical process is used for sorting and recovery of positive/negative-electrode material (black mass) and metal materials such as sheets. The solvent extraction for cobalt and nickel from black mass has also been demonstrated using a variety of wet and dry methods.

An LIB is generally installed into the vehicle as a unit combining a large number of cells or modules with a control circuit. The reuse and recycling of materials comprising the LIB unit has a significant effect in terms of reducing CO₂ emissions. There is therefore a need to design a recycling system for LIBs and as such it is important to demonstrate a system for reuse and recycling.

In this project, we will conduct a demonstration using consistent processing to appropriately reuse/recycle each system component, from retrieval of the LIB units from end-of-life vehicles to the solvent extraction for cobalt and nickel. The demonstration, which is based in Kitakyushu City, Fukuoka Prefecture, aims to evaluate the effect of CO₂ reduction with a view to contributing to the Regional Circular and Ecological Sphere.

[Details of the FY2021 Demonstration Project]

In this project, we conducted a demonstration of consistent processing in order to reuse/recycle each system component appropriately, from the retrieval process of the LIB units from vehicles to solvent extraction process for cobalt and nickel. The demonstration was conducted in Kitakyushu City, Fukuoka Prefecture and used to evaluate the effect on CO₂ reduction. This year, we examined a series of processes from retrieval of LIB units from end-of-life vehicles, detection of deterioration for sorting LIB units for reuse/recycling, discharging and dismantling of LIB units for recycling, thermal decomposition, crushing, and sorting of LIB cells and modules, to solvent extraction/purification for cobalt and nickel from black mass.

(1) LIB unit retrieval automation

Two labor-saving approaches were examined for the removal of LIB units from the two models, the LEAF and the FIT3. For the LEAF, an LIB unit retrieval automation installation that tilts the vehicle and uses a bolt removal device was designed and produced, and for the FIT3, an assist installation for the removal of the LIB unit was designed and produced. The automation installation and assist installation have operated normally and it is verified that they can contribute to the safety and labor-saving of the retrieval of LIB units.

(2) Detection of LIB unit deterioration

A comparative study was conducted for the technologies to detect deterioration in LIBs which are currently under development. It was judged that such technologies are difficult to apply and introduce to the demonstration currently. Then we will continue to study and watch the development of the technologies. In addition, consideration was also made for their application as rechargeable batteries after detection of deterioration.

(3) Discharging LIB unit

In order to safely and efficiently dismantle the LIB unit and to avoid thermal runaway during thermal decomposition, the discharge conducted in the state of the LIB unit was demonstrated and

a safe and efficient discharge method was examined. In addition, the reduction effect on the commercial power was confirmed by introducing a regenerative discharge device.

(4) Automation of LIB unit dismantling

We examined the automation of dismantling work using industrial robots for the purpose of labor-saving. A work procedure was created, obtained through actual dismantling of LIB units. The configuration was then planned for an LIB unit dismantling line that incorporates automation into part of the dismantling work.

(5) Thermal decomposition of LIB modules

Electrolytes (the organic matter in the LIB module or cell) were detoxified by thermal decomposition, and thermal processed LIB modules or cells were recovered.

The specifications of the batch furnace have been examined in order to use it as the thermal decomposition furnace for the efficient separation and solvent extraction for cobalt and nickel by detoxifying the electrolytes (the organic matter contained in the LIB) and crushing and sorting in the later stage. Then the furnace was constructed and installed. In addition, a confirmation test of the behavior in thermal decomposition was conducted.

(6) Crushing and sorting after thermal decomposition

Based on the results of last year's study on crushers, sorting machines, and equipment layout, detailed design was carried out, and the biaxial shear crusher line and the hammer crusher and sorting line were constructed and installed. In addition, the crushing and sorting capability of the hammer crusher and sorting line was confirmed.

(7) Solvent extraction for cobalt and nickel

Improvement of the process for the wet solvent extraction for cobalt and nickel from black mass recovered after LIB thermal decomposition, crushing, and sorting was examined. It was verified by the demonstration test that cobalt and nickel can be extracted with high efficiency and high purity.

(8) Evaluation of the effect of environmental impact improvement and the effect of CO₂ emission reduction of the project

The evaluation scenario was reviewed to examine the effect of environmental impact improvement and the effect of CO₂ emission reduction. Operational data was collected through commissioning and equipment optimization tests of equipment and facilities used in this project, and we have evaluated the effects of environmental impact improvement and the effect of CO₂ emission reduction during LIB extraction and transport.

(9) Examining the project for the revitalization of metal recycling business and for the exit strategy

In terms of revitalization of metal recycling business, the potential for the horizontal deployment is organized, including expansion to xEVs other than the LEAF and FIT3, expansion to vehicles other than xEVs, the expansion to rechargeable battery business, and expansion to rare metal recovery business, etc. and they were examined for the exit strategy.

[Plan of the FY2022 Demonstration Project]

In FY2022, we plan to advance and deepen the demonstration of consistent processing that was conducted in FY2021 by using effectively the equipment and facilities in each LIB reuse/recycling process.

Operational data on the equipment and facilities used in the project will be collected, and the environmental impact improvement effect, CO₂ emissions, and economic evaluation will be estimated for each process and for consistent processing.

目 次

1. 事業の全体概要	1
1. 1 事業の背景	1
1. 2 事業の目的	1
1. 3 事業全体像と実施概要	2
1. 4 事業の実施体制	3
1. 5 本年度事業の実施期間	4
2. 実証事業における前提条件	5
2. 1 検討の対象とする車種	5
2. 2 九州地区における廃車台数と廃 LIB 発生量	5
2. 3 本事業における LIB ユニット解体ラインの処理量	5
3. 北九州地域での全体最適 LIB リユース・リサイクル技術・システム実証	7
3. 1 車両からの LIB ユニット取り出し自動化に関する検討	7
3. 1. 1 LIB ユニット取り出し自動化装置の検討	7
3. 1. 2 LIB ユニット取り出し助力装置の検討	45
3. 2 LIB ユニットのリユース・リサイクルに関する検討	52
3. 2. 1 LIB ユニット劣化診断	52
3. 2. 2 LIB ユニットの放電	60
3. 2. 3 LIB ユニット解体自動化	67
3. 3 LIB の熱分解処理、破砕・選別処理に関する検討	82
3. 3. 1 LIB モジュールの熱分解	82
3. 3. 2 熱分解後の破砕・選別	87
3. 4 Co、Ni の回収に関する検討	113
3. 4. 1 湿式回収プロセスと設備	113
3. 4. 2 Co、Ni の回収能力の検証	116
4. 事業における環境改善効果、CO ₂ 排出量削減の評価	117
4. 1 評価シナリオの確認	117
4. 2 本事業のプロセスの評価のためのデータ採取	119
4. 2. 1 評価のための条件設定	119
4. 2. 2 評価のためのデータ採取	119
4. 3 LIB 取り出し時の CO ₂ 排出量の評価	122
4. 3. 1 LIB 取り出し実証試験データの整理	122

4. 3. 2	計算条件	122
4. 3. 3	算定結果	122
4. 4	LIB 輸送時の CO ₂ 排出量の評価	124
4. 4. 1	輸送形態	124
4. 4. 2	計算条件	126
4. 4. 3	推計結果	128
4. 5	環境影響改善効果の評価	134
4. 5. 1	評価手法について	134
4. 5. 2	TMR(関与物質総量)による評価	135
4. 5. 3	サステナビリティ評価	137
4. 6	今後の課題	139
5.	事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討 ...	140
5. 1	評価シナリオの確認	140
5. 2	LIB 取り出しに関する経済性評価.....	141
5. 2. 1	処理台数の設定	141
5. 2. 2	コスト算出のための単価等の条件設定	142
5. 2. 3	LIB 取り出し処理コスト算出結果.....	143
5. 3	金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略に向けた検討	145
5. 3. 1	金属リサイクルビジネスへの横展開の可能性	145
5. 3. 2	出口戦略の検討	147
6.	まとめ	149
付録 1	「現地視察会の開催」	150
付録 2	「共同実施者等との打合せ」	150
付録 3	「評価審査委員会への出席」	150
	用語の定義/略語	151

図目次

図 1.3-1	事業全体像	2
図 1.4-1	事業の実施体制図	4
図 2.3-1	LIB ユニット解体ラインの処理量の考え	6
図 3.1.1-1	LIB ユニット取り外し自動化装置レイアウト図	9
図 3.1.1-2	LIB ユニット取り出し自動化装置全景画像	10
図 3.1.1-3	車両傾転装置の詳細図	11
図 3.1.1-4	車両位置確認センサー及び車両位置確認パトランプ	14
図 3.1.1-5	縦方向車両ガイド	15
図 3.1.1-6	横方向車両ガイド	15
図 3.1.1-7	固縛装置	16
図 3.1.1-8	傾転装置	17
図 3.1.1-9	シフトリフト装置	18
図 3.1.1-10	LIB ユニット締結ねじ取り外しロボット	19
図 3.1.1-11	株式会社安川電機製ロボット MOTOMAN GP180-120	21
図 3.1.1-12	ロボットコントローラー	21
図 3.1.1-13	ティーチング内容	22
図 3.1.1-14	ロボットハンド	23
図 3.1.1-15	ナットランナー及びソケット	23
図 3.1.1-16	カメラ	24
図 3.1.1-17	ねじ回収ボックス	25
図 3.1.1-18	安全柵	26
図 3.1.1-19	脱落防止ワイヤー取り付け状態	27
図 3.1.1-20	緊急停止ボタン	28
図 3.1.1-21	セーフティープラグ	29
図 3.1.1-22	90° ロックピン及びロックピンホルダー	30
図 3.1.1-23	RFID(無線周波数識別)	31
図 3.1.1-24	LIB ユニット取り出し自動化装置の制御盤と操作盤及びロボットの制御盤	32
図 3.1.1-25	LIB ユニット取り外し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作 フロー.....	33
図 3.1.1-26	LEAF を車両傾転装置に装入した状態	37
図 3.1.1-27	脱落防止ワイヤー締結作業	37

図 3. 1. 1-28	90° 傾転時の手作業による取り外し箇所	39
図 3. 1. 1-29	作業台	40
図 3. 1. 1-30	180° ロックピンホルダー	42
図 3. 1. 1-31	LEAF 及び LIB ユニットの排出作業	43
図 3. 1. 2-1	LIB ユニット取り出し助力装置全体レイアウト	46
図 3. 1. 2-2	LIB ユニット取り出し助力装置	46
図 3. 1. 2-3	LIB 取り出しアタッチメント	48
図 3. 1. 2-4	助力装置の事前準備及び一連の操作	49
図 3. 2. 1-1	V2H のイメージ	57
図 3. 2. 2-1	放電検討を行った LIB の種類	60
図 3. 2. 2-2	LEAF-LIB(30kWh)放電イメージ	62
図 3. 2. 2-3	LEAF-LIB(40kWh)放電イメージ	62
図 3. 2. 2-4	メインコネクタ及びユニット内部	63
図 3. 2. 2-5	放電装置の外観及び仕様	64
図 3. 2. 2-6	電力回生機放電装置の電力系統図	65
図 3. 2. 2-7	放電装置と LIB との接続の外観	65
図 3. 2. 3-1	LEAF-LIB 解体調査	68
図 3. 2. 3-2	LEAF-LIB 部品	68
図 3. 2. 3-3	FIT3-LIB 解体調査	68
図 3. 2. 3-4	手解体作業例	74
図 3. 2. 3-5	自動解体例	74
図 3. 2. 3-6	LIB ユニット解体ライン	76
図 3. 2. 3-7	LIB ユニット解体ライン周辺レイアウト	76
図 3. 2. 3-8	揚重装置	78
図 3. 2. 3-9	治具パレット	78
図 3. 2. 3-10	LEAF-LIB 作業姿勢	77
図 3. 2. 3-11	FIT3-LIB 作業姿勢	79
図 3. 2. 3-12	産業用ロボット	80
図 3. 2. 3-13	ロボットビジョンシステム	80
図 3. 2. 3-14	ナットランナーとソケット	81
図 3. 2. 3-15	ねじ回収装置	81
図 3. 3. 1-1	バッチ炉 設置レイアウト	83
図 3. 3. 1-2	熱分解原料	84
図 3. 3. 1-3	LIB Ni 系円筒型 熱分解物	85
図 3. 3. 2-1	二軸せん断機の最終仕様	88
図 3. 3. 2-2	ハンマーシュレッダーの最終仕様	88

図 3.3.2-3	選別フロー	89
図 3.3.2-4	篩分け機の最終仕様	90
図 3.3.2-5	磁力選別機最終仕様	91
図 3.3.2-6	ライン構成	92
図 3.3.2-7	最終仕様のライン構成	94
図 3.3.2-8	ハンマー破碎選別ライン 試験項目	96
図 3.3.2-9	LIB Ni 系円筒型 熱分解物	97
図 3.3.2-10	振動篩 篩下産物	99
図 3.3.2-11	Co、Ni 回収品位、回収率確認試験	100
図 3.3.2-12	LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された活物質	101
図 3.3.2-13	LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された磁着物	102
図 3.3.2-14	LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された非磁着物	102
図 3.3.2-15	LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された集塵物	103
図 3.3.2-16	LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された活物質	105
図 3.3.2-17	LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された磁着物	105
図 3.3.2-18	LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された非磁着物	106
図 3.3.2-19	LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された集塵物	106
図 3.3.2-20	LIB Co 系角型 各周波数にて回収された活物質	109
図 3.3.2-21	LIB Co 系角型 各周波数にて回収された集塵物	109
図 3.3.2-22	LIB Co 系角型 各周波数にて回収された非磁着物	110
図 3.3.2-23	LIB Co 系角型 各周波数にて回収された集塵物	110
図 3.4.1-1	湿式回収プロセス	114
図 3.4.1-2	湿式回収実証試験設備の外観	116
図 3.4.2-1	回収した CoSO_4 水和物結晶	116
図 3.4.2-2	回収した NiSO_4 水和物結晶	115
図 4.1-1	システム境界図	118
図 4.1-2	LIB 回収ケースの設定	118
図 4.4.1-1	トラックへの LIB 積載状況	125
図 4.4.2-2	改良トンキロ法の説明	127
図 4.4.3-1	LEAF の LIB 輸送の CO_2 排出量	128
図 4.4.3-2	FIT3 の LIB 輸送の CO_2 排出量	129
図 4.4.3-3	LEAF の ELV 輸送の CO_2 排出量	129
図 4.4.3-4	FIT3 の ELV 輸送の CO_2 排出量	129
図 4.4.3-5	最適なトラックで輸送した輸送ケース別 CO_2 総排出量	130
図 4.4.3-6	LEAF の輸送ケースの CO_2 総排出量	132
図 4.4.3-7	FIT3 の輸送ケース別 CO_2 排出量	132

図 4.5.3-1	コバルト採掘・LIB 製造における評価のシステム境界	138
図 5.1-1	既存プロセスの代表的な LIB 処理方式	140
図 5.2.3-1	LEAF の処理台数と LIB 取り出し処理コストの関係	143
図 5.2.3-2	FIT3 の処理台数と LIB 取り出し処理コストの関係	144

表目次

表 2. 1-1	実証事業対象 LIB ユニット搭載車両	5
表 2. 2-1	九州地区における廃車台数と廃 LIB 発生量	5
表 3. 1. 1-1	車両傾転装置主仕様	12
表 3. 1. 1-2	LIB ユニット締結ねじ取り外しロボット主仕様	20
表 3. 1. 2-1	LIB ユニット取り出し助力装置の主仕様	47
表 3. 2. 1-1	劣化診断技術の比較	54
表 3. 2. 2-1	LEAF-LIB(30kWh) の定格電圧	61
表 3. 2. 2-2	LEAF-LIB(40kWh) の定格電圧	61
表 3. 2. 2-3	FIT3-LIB の定格電圧	61
表 3. 2. 2-4	LEAF-LIB 放電データ	66
表 3. 2. 3-1	LEAF-LIB(30kWh) 解体の手順、工数及び自動化率	70
表 3. 2. 3-2	LEAF-LIB(40kWh) 解体の手順、工数及び自動化率	71
表 3. 2. 3-3	Blue Energy 製 FIT3-LIB 解体の手順、工数及び自動化率	72
表 3. 2. 3-4	Panasonic 製 FIT3-LIB 解体の手順、工数及び自動化率	73
表 3. 3. 1-1	熱分解炉の仕様	83
表 3. 3. 1-2	小型家電 LIB Ni 系 熱分解条件、熱分解結果	84
表 3. 3. 2-1	本試験に用いた小型家電用 LIB 熱分解物	95
表 3. 3. 2-2	試験項目	95
表 3. 3. 2-3	各原料の処理流量	97
表 3. 3. 2-4	振動篩 篩下産物性状	98
表 3. 3. 2-5	過去実施した篩分けバッチテスト結果	98
表 3. 3. 2-6	LIB Ni 系円筒型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量	100
表 3. 3. 2-7	LIB Ni 系円筒型における各産物の重量分布、回収品位、回収率	101
表 3. 3. 2-8	LIB Co 系円筒型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量	104
表 3. 3. 2-9	LIB Co 系円筒型における各産物の重量分布、回収品位、回収率	104
表 3. 3. 2-10	LIB Co 系角型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量	107
表 3. 3. 2-11	LIB Co 系角型における各産物の重量分布、回収品位、回収率	108
表 4. 2. 2-1	LEAF からの LIB 取り出しに係る消費電力測定結果	120
表 4. 2. 2-2	FIT3 からの LIB 取り出し時のコンプレッサー圧力変動と消費電力測定結果	121
表 4. 3. 3-1	FIT3 の LIB 取り出し工程に伴う CO ₂ 排出量	123

表 4. 3. 3-2	LEAF の LIB 取り出し工程に伴う CO ₂ 排出量	123
表 4. 4. 1-1	トラックの仕様	124
表 4. 4. 2-1	九州地域の人口、LIB 個数、北九州エコタウンまでの距離	127
表 4. 4. 3-1	LIB 輸送の CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	128
表 4. 4. 3-2	ELV 輸送の CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	128
表 4. 4. 3-3	最適なトラックで輸送した LIB, ELV の CO ₂ 総排出量	129
表 4. 4. 3-4	輸送ケース別 CO ₂ 総排出量	131
表 4. 4. 3-5	ケース I における LEAF の LIB 輸送ケース別 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)	133
表 4. 4. 3-6	ケース I における FIT3 の LIB 輸送ケース別 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)	133
表 4. 4. 3-7	ケース II における LEAF の LIB 輸送ケース別 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)	133
表 4. 4. 3-8	ケース II における FIT3 の LIB 輸送ケース別 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)	133
表 4. 5. 2-1	TMR 係数	135
表 4. 5. 2-2	LIB から回収される Cu、Al の重量	135
表 4. 5. 2-3	LEAF の LIB の TMR	136
表 4. 5. 2-4	FIT3 の LIB の TMR	136
表 4. 5. 3-1	インパクトカテゴリー	138
表 5. 1-1	比較検討対象とするプロセス	140
表 5. 2. 1	処理台数の設定	141
表 5. 2. 2	コスト算出に向けた条件設定	142

1. 事業の全体概要

1. 1 事業の背景

リチウムイオン電池（以下、「LIB」と略す）は、次世代自動車の普及とともに自動車への使用が増えているものの、現状では廃車両に搭載されていた LIB の扱いを巡る社会的な課題は顕在化していない。LIB のリユースでは、自動車メーカーが主体となった定置型 LIB としてのリユース事業が開始されているものの、国内では廃 LIB の発生量がそれ程多くないことから、事業化している企業は多くない。自動車リサイクル事業者では、廃車両から回収された LIB は、走行距離等の情報から LIB のリユース可否を判断し、売却できる LIB ユニットを部品として販売しているのが実態である。

しかしながら、カーボンニュートラル政策の下、自動車の EV 化が急速に進み、将来、廃 LIB が大量発生する時代には、資源循環の観点からも LIB のリユース・リサイクルのサプライチェーン全体の維持・強化に資するための効率的かつ安全な循環型処理システムの構築が求められる。

また、このような LIB のリユース・リサイクルの促進により、サプライチェーン全体での環境負荷が低減し、カーボンニュートラルに貢献できると考えられる。

現時点において、LIB のリユース・リサイクルについては、種々の技術検討、検証が進められているが、LIB ユニット取り出し工程から Co、Ni 回収工程までの連続した一貫システムの検証は行われておらず、この連続した一貫システムに内在する課題、特に、各処理プロセスの接続の際の課題等を顕在化させ、解決していくことによる、より安全かつ効率的で、CO₂排出等の環境負荷の低い処理システムの構築が重要となると考えられる。

1. 2 事業の目的

LIB は、ハイブリッド車（以下、「HV」と略す。）、プラグインハイブリッド車（以下、「PHEV」と略す。）、電気自動車（以下、「EV」と略す。）、燃料電池車（以下、「FCV」と略す。）等の次世代自動車の普及により、ますますその使用量が増える傾向にある。また、太陽光発電と組み合わせた家庭用の蓄電池やバックアップ電源等としても、小型で大容量の LIB の使用量も増え続けている。そのため、LIB の構成元素である Co、Ni の需要は高まり、将来的には需給バランスが大きく変化し調達が困難となる可能性がある。資源の有効利用の観点から、LIB のリユースや、LIB ユニットを構成する素材のリサイクルが必要となり、また、これらは CO₂削減にも大きく貢献する。

本事業では車両からの LIB ユニット取り出し工程から Co、Ni 回収工程まで、構成素材ごとの適正なリユース・リサイクルの一貫処理の実証を福岡県北九州市で行い、LIB を循環するためのリユース・リサイクルシステムの構築に資するとともに、CO₂削減効果を評価し、地域循環共生圏の形成に貢献することを目的とする。

1. 3 事業全体像と実施概要

本事業の事業全体像を図 1.3-1 に示すとともに、図内に示す各項目の実施概要を以下に示す。

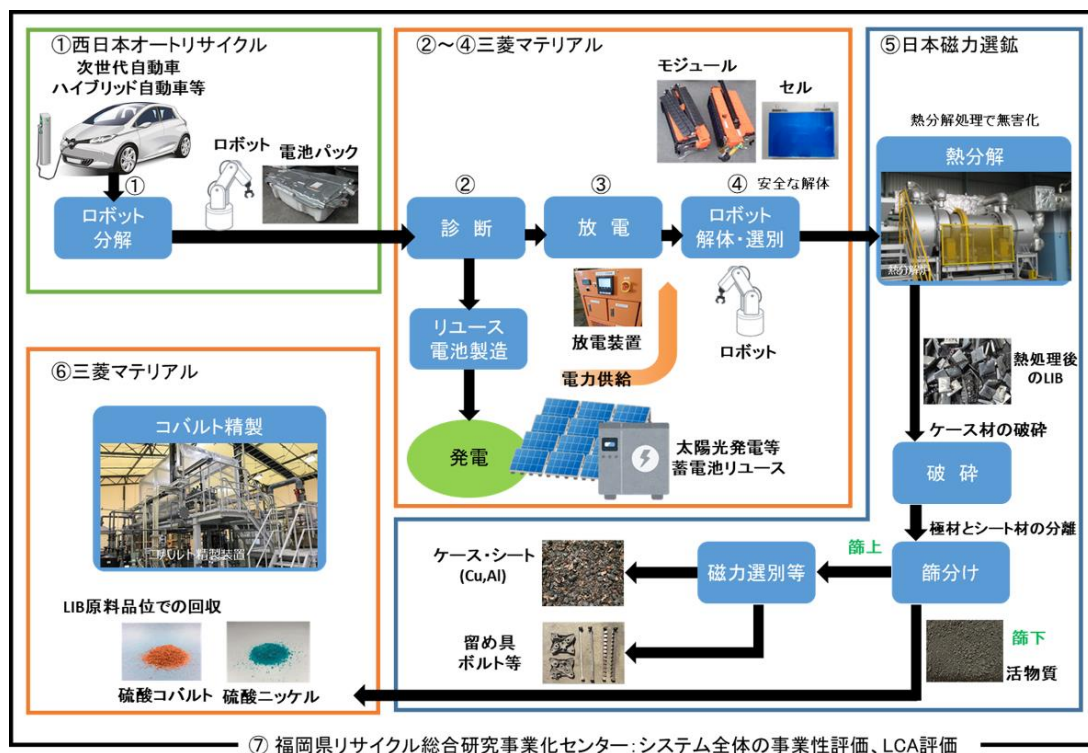


図 1.3-1 事業全体像図

(1) LIB ユニット取り出し自動化

現時点で販売台数の多い、日産自動車株式会社の LEAF (EV) と本田技研工業株式会社の FIT3 (HV) の 2 車種を対象とし、LIB の取り出し作業の省力化と安全性向上を目的に、LEAF については LIB ユニットの取り出し自動化装置に関する検討を、また FIT3 については LIB ユニット取り出しのための助力装置を検討する。

(2) LIB ユニット劣化診断

自動車リサイクル事業者が廃車両から LIB を取り外した時点で、LIB の劣化度を評価し、リユース/リサイクル向けに仕分けることが出来れば、LIB をリユース事業者、リサイクル事業者へ効率よく輸送することが可能となり、CO₂ 削減にも貢献できることから、LIB の劣化診断手法に関する調査・比較を行い、現時点で汎用性の高い技術について劣化診断における適用性向上に関する検討を行う。

(3) LIB ユニットの放電

効率的かつ安全な LIB 解体を行うための前段として必要となる、ユニット単位での放電技術を検討する。

(4) LIB ユニット解体自動化

LIB ユニットは、LIB セル又はモジュール、銅を使った電路、金属を含む制御基板等で構成されており、LIB のリサイクルでは、構成部材の需要者に応じた解体分別回収が欠かせない。解体作業は人手に頼るところが大きく、省力化や感電防止等の安全性向上の観点から自動化が求められる。本事業では、ユニットからモジュール又はセルの状態までの安全かつ効率的な解体のため、電池解体作業のねじ外し等、一部工程にロボット技術を活用することを検討する。

(5) LIB モジュールの熱分解

LIB モジュール又はセル内の有機物である電解液を熱分解により無害化するにあたり、後段の破碎・選別、Co、Ni 回収で高効率な分離を実現できる熱分解処理条件を検討し、LIB モジュール又はセル熱処理物を回収する。

(6) 熱分解後の破碎・選別

熱分解後の活物質を高収率、高効率で得るための破碎・選別の設備及びフィールド機の技術要件等に関する検討を行う。

(7) Co、Ni の回収

LIB 熱分解、破碎・選別後に回収した活物質から、Co、Ni を湿式回収する既存プロセスを改善し、Co、Ni を高効率、高純度で回収可能であることを確認する。

(8) 事業における環境影響改善効果、CO₂ 排出量削減効果の評価

本事業で用いる装置及び設備の試運転や装置最適化試験等から運転データを収集し、工程ごとの環境影響改善効果及び CO₂ 排出量を試算する。

(9) 事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討

本事業における LIB リユース・リサイクルシステムの各工程に用いる技術又はビジネスモデルを、金属リサイクルビジネスに横展開する可能性を検討する。また、実証事業で得られた技術及び経験を、将来の LIB リユース・リサイクル事業へ活かす方策を検討する。

1. 4 事業の実施体制

本事業の実施体制を図 1.4-1 に示す。申請法人及び共同実施者の役割の詳細は前述の図 1.3-1 の事業全体像図のとおりである。

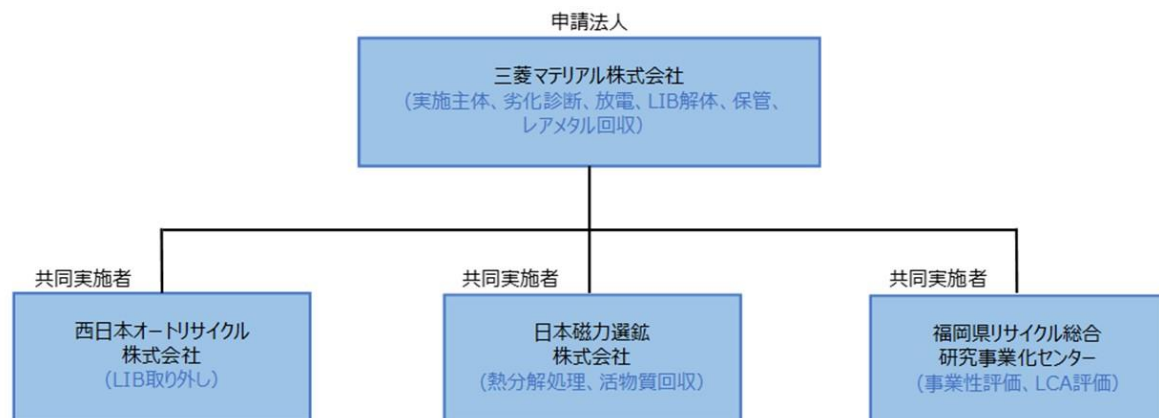


図 1.4-1 事業の実施体制図

1. 5 本年度事業の実施期間

本年度の実証事業の実施期間は、以下の通りである。

「2021年4月1日～2022年3月25日」

2. 実証事業における前提条件

2. 1 検討の対象とする車種

LIB ユニット取り出し自動化を検討するにあたり、各メーカーの電動車に使用された LIB ユニット取り出しへの汎用性を考慮し、EV の代表車として LEAF を、HV の代表車として FIT3 を選定した。各車の型式と写真を表 2.1-1 に示す。検討に際しては、各メーカーが提示している手解体による取り出し方法を参考にした。

表 2.1-1 実証事業対象 LIB ユニット搭載車両

車種	LEAF		FIT3
型式	AZE0 (30kWh)	ZE1 (40kWh)	GP5
写真			

2. 2 九州地区における廃車台数と廃 LIB 発生量

過去の FIT 及び LEAF の国内新車販売台数に、経年による廃車率及び中古車輸出比率を勘案し廃車台数を予測し、表 2.2-1 に示した。

2025 年の FIT 及び LEAF の廃車台数は、それぞれ 32,216 台、6,068 台となり、廃 LIB の発生はこれらと同数となる。

表 2.2-1 九州地区における廃車台数と廃 LIB 発生量

	2025 年 廃車台数
FIT	32,216
LEAF	6,608

2. 3 本事業における LIB ユニット解体ラインの処理量

LIB ユニット解体ラインでは、LIB ユニートを後工程の熱分解処理に適した LIB セル又はモジュール単位まで解体するとともに、LIB ユニートを構成するケース、LIB の制御システム、これらの接続ケーブル類、固定器具等の部材を分別回収する。車両から取り外された LIB ユニートは、電力が残留していることから、安全な LIB 解体作業には放電も必要となる。LIB ユニット解体ラインは、これらの一連の作業を行う設備の総称である。なお、本事業では、北九州地区で車両から LIB ユニートを取り外し、近傍で LIB ユニートを解体するため、LIB の劣化診断も LIB ユニット解体ラインで行う。

本事業では、LIB を搭載する現時点で販売台数の多い FIT 及び LEAF を対象とし、2025 年の九州地区における LIB の発生量に基づき、LIB ユニット解体ラインの検討を行う。

図 2.3-1 に LIB ユニット解体ラインの処理量の考え方を示す。

九州地区では、それぞれの廃車台数に自動車保有比率の 11.6%を乗じた数が発生するため、北九州市における LIB ユニット解体ラインの廃 LIB 受入れ量を、FIT が 3,737 個/年(= 14.4 個/日)、LEAF が 704 個/年(= 2.7 個/日)とした。

LIB ユニット解体ラインで受入れる廃 LIB を劣化診断した結果、70%がリユース、30%がリサイクルに配分されると仮定し、一日当たりの放電及び LIB ユニット解体の処理量を FIT が 4.3 個/日、LEAF が 0.8 個/日とした。

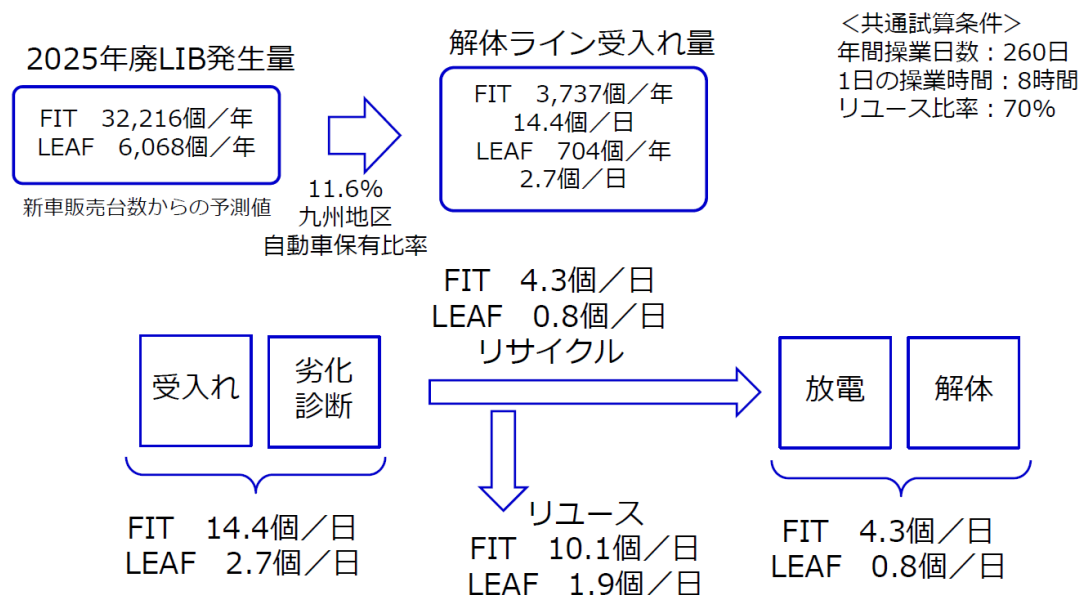


図 2.3-1 LIB ユニット解体ラインの処理量の考え方

3. 北九州地域での全体最適 LIB リユース・リサイクル技術・システム実証

3. 1 車両からの LIB ユニット取り出し自動化に関する検討

現時点で販売量の多い本田技研工業株式会社 FIT3 (HV) (以下、「FIT3」という。) と日産自動車株式会社 LEAF (EV) (以下、「LEAF」という。) の 2 車種を対象とし、LIB ユニット取り出し工程の安全性の確保及び省力化に向け、FIT3 については助力装置、LEAF については自動化装置に関する検討を行った。

3. 1. 1 LIB ユニット取り出し自動化装置の検討

LEAF の LIB ユニット取り出し方法の一連の作業の内、LIB ユニットの車体から降ろす際の作業員の安全性や作業効率の改善を目的とした、LIB ユニット取り出し自動化装置の設計製作及び作動確認を行った。

(1) 昨年度の成果と課題

LEAF の LIB ユニットの車体から降ろす作業は、カーリフトで持ち上げられた車体の下部に、作業員が入り込んで行われる。作業員は、樹脂製アンダーカバー、電気系コネクタ及び LIB ユニット固定ねじの取り外し等を行う必要があり、車体の底面に対して上向きでの作業を長時間強いられる。また、作業員は車体の下部に入り込んで上向き姿勢で数多くの部品を取り外すことになるため、部品やアンダーカバー等に付着した泥等の落下もあり作業環境が悪いとともに、300～400 kg の重量物である LIB ユニットの落下の危険性を伴っている。従って、LIB ユニットの車体から降ろす際の作業員の安全性や作業効率の改善を課題として検討を行い、LIB ユニット取り出し自動化装置の開発を行った。開発するにあたり、車体下部作業及び長時間の上向き作業を排除する手段として長手方向を軸に車両を傾転させて作業性を向上させる装置である車両傾転装置を導入することとした。また、車両傾転装置に加えて LIB ユニット締結ねじ取り外しの部分自動化を可能とするロボットを導入することで、LIB ユニット取り出し自動化装置全体として省力化、安全性及び生産性の向上を目指すこととした。ロボットが対応できない作業の一部である樹脂製アンダーカバー及びアンダーカバー周辺の電気系コネクタ等の取り外しでは、車体を 90° に横転して作業員が正対した状態で作業を可能とすることで作業負荷の低減を図ることを課題とした。自動化については、ロボットの特性上、上からの作業を得意とするため、車体を 180° に反転することで LIB ユニット締結ねじの取り外しを対応させることを課題とした。また、一連の LIB ユニット取り出し作業を要員 1 名で行うことを前提とし、作業における車体の横転や反転及び復元作業の自動化とロボット導入を含めた安全性確保を開発課題とした。LEAF の LIB ユニットの取り出し時間については、1 台当たり 30 分を目標とした。なお、この時間は 2. 2 節に示した 2025 年の九州エリアでの LEAF 廃車発生予測である 2.7 個/日も包含できる。

(2) 本年度の成果

本年度は、LIB ユニット取り出し自動化装置の設計製作及び作動確認を行った。

1) LIB ユニット取り出し自動化装置の設置レイアウトと装置構成

LIB ユニット取り出し自動化装置全体レイアウトを図 3.1.1-1 に示す。上図は正面図で、下図は平面図である。当該装置は車両傾転装置と LIB ユニット締結ねじの取り外し用ロボットで構成され、車両傾転装置を中央に設置し、車両の装入は当該装置の正面より行うため、ロボットは反装入側（車両傾転装置の奥側）に配置されている。また傾転装置の反装入側の左右には車両装入時の車両位置確認用のパトランプが設置されている。これらの装置の周囲には安全柵が設置されており、LIB ユニット取り外し自動運転中の人の立ち入りを防止している。装置を操作する操作盤は、安全柵外の LEAF 装入口左側に、また傾転装置とロボットの制御盤は安全柵外の左側に並べて配置している。装置全景画像を図 3.1.1-2 に示す。画像は装置へ車両の装入作業を行う斜め前方から撮影したものである。機械色に塗装されているのが車両傾転装置、青色に塗装されているのがロボットで、これらの装置を囲んでいるのが黄色に塗装されたポストで支えられた安全柵である。

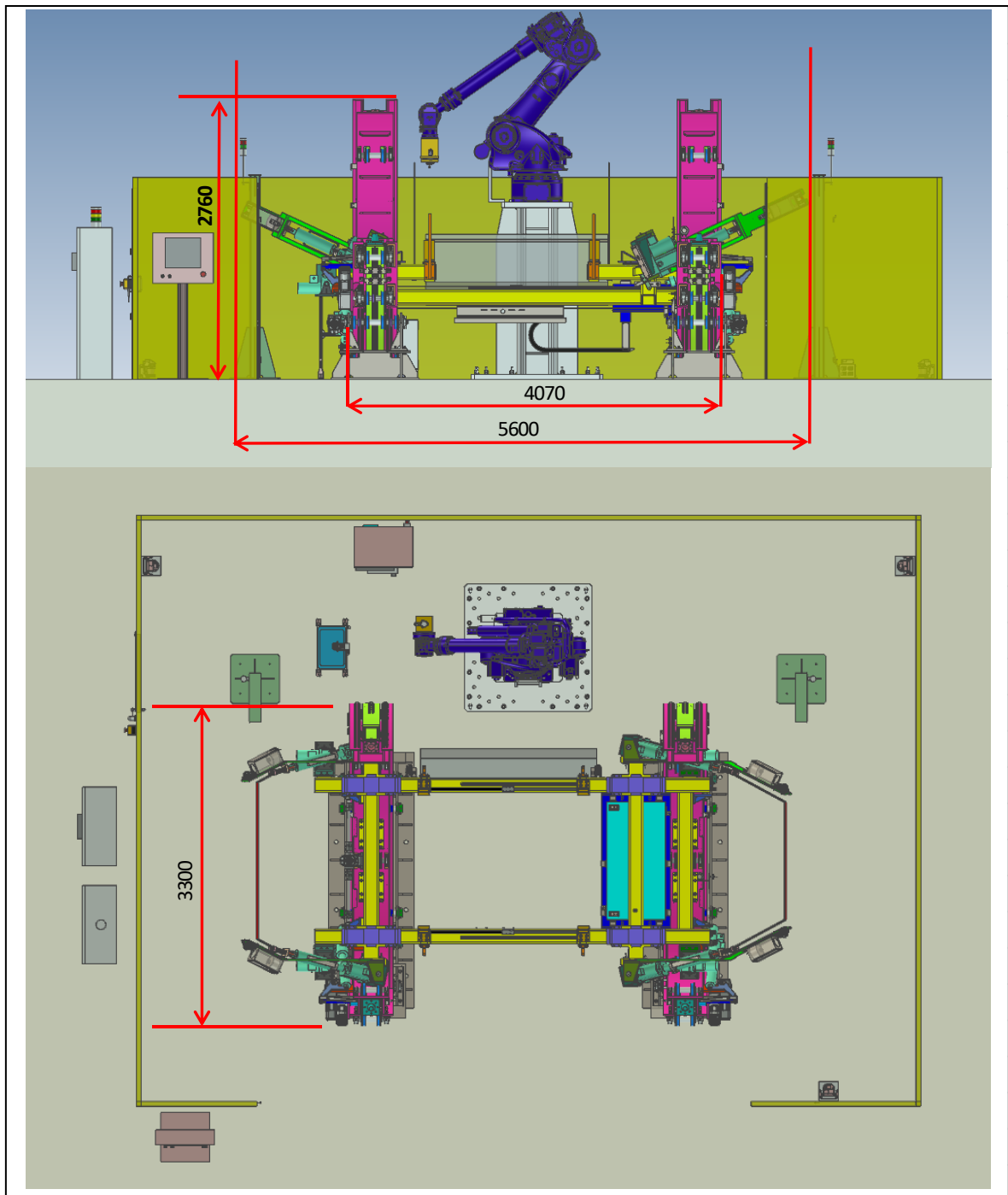


図 3. 1. 1-1 LIB ユニット取り外し自動化装置レイアウト図



図 3.1.1-2 LIB ユニット取り出し自動化装置全景画像

2) 車両傾転装置の実機開発結果

(a) 車両機転装置の全体構成

当該装置は、①車両を車載フレームに位置決めして固定する「固縛装置」、②車両を傾転させるためにチェーン・スプロケットモータードライブ機構を有する外リングと内リングで構成された「傾転装置」、③締結ねじを取り外した後、車両が 180° 反転から 0° 復元する間に LIB ユニットが落下しないように支え、復元後車両から LIB ユニットを受け、取り出し位置に移動させる「シフトリフト装置」で構成されている。車両傾転装置の詳細図を図 3.1.1-3 に示す。上図は車両を装入する前の状態で、前後の車両固縛装置は倒れており、内リングは外リング内に収納されている。一方、下図は車両を装入後の前後の固縛装置と内リングの動きを示している。前後の固縛装置は赤い矢印の軌道で起立し、内リングは青い矢印の軌道で動き外リングと結合する。車両傾転装置主仕様を表 3.1.1-1 に示す。

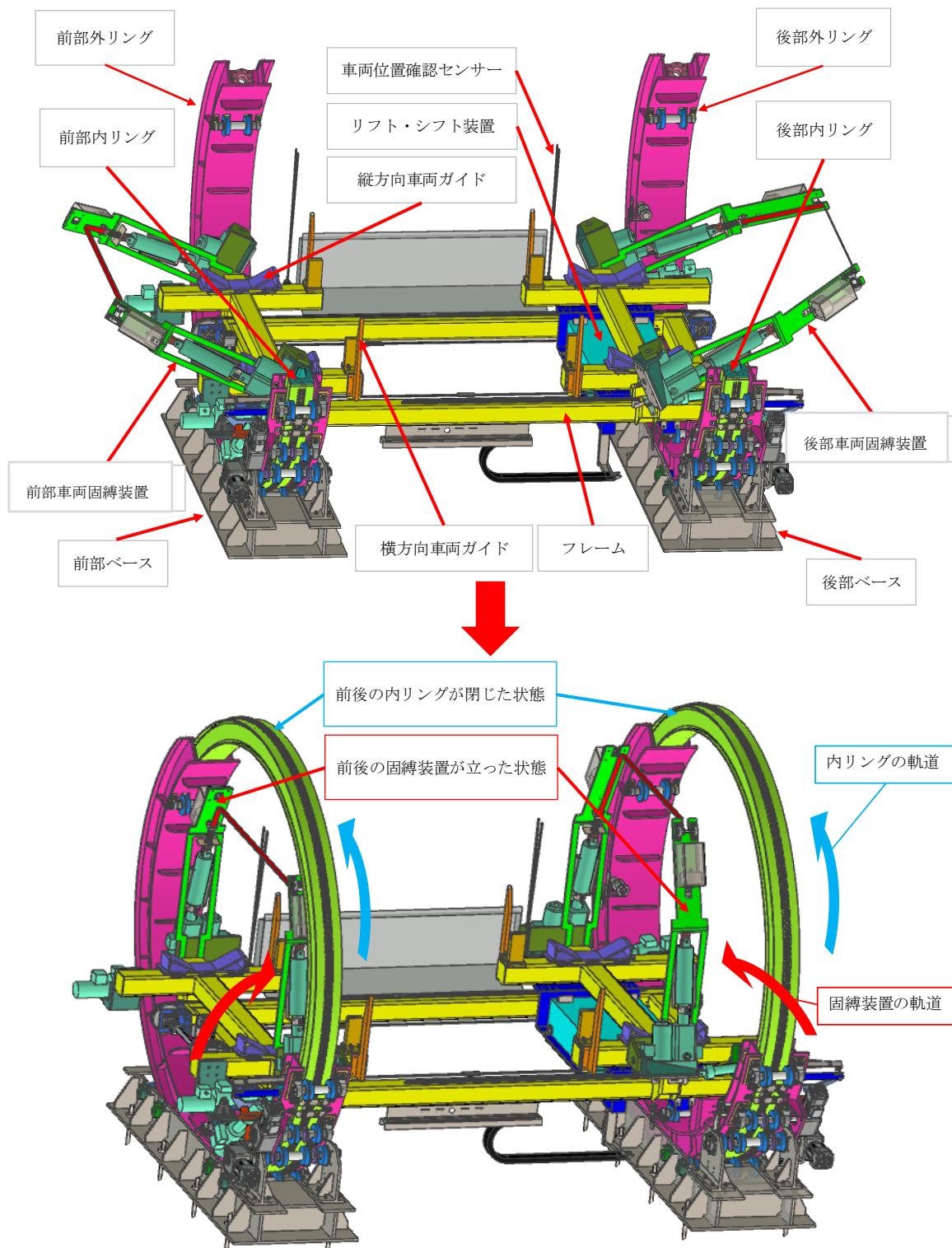


図 3.1.1-3 車両傾転装置の詳細図

表 3. 1. 1-1 車両傾転装置主仕様

大項目	小項目		仕様
概形寸法	横幅		4489 mm
	縦幅		3293. 5mm
	高さ		3255. 7mm
傾転装置	傾転リング	個数	2
		外径	φ 3200 mm
		内径	φ 2804 mm
		外リング	幅 440 mm 215°
		内リング	幅 180 mm 200°
	駆動方式		チェーン・スプロケット モータードライブ
固縛装置	個数		2
	固縛機構		ベルトスリング+圧縮バネ モータードライブ
	起立傾斜角度		65°
シフトリフト装置	個数		1
	寸法		1200 mm×700 mm
	横行ストローク		1350 mm
	押付力		ジャッキ方式 300 kg

(b) 車両傾転装置を構成する各装置説明

① 車両位置決め機能と固縛装置

車両を反転した状態で LIB ユニット取り出し作業をロボットで行うためには、車両傾転装置に対する車両の位置決めと固定が必要である。傾転装置フレームへの車両位置決めについては、フォークリフトで車両の横方向から持ち上げて装置へ装入する際の作業性向上対策として、車両の横方向（車幅方向）と縦方向（車長方向）の位置決めの工夫を行っている。まず横方向については、車両前後の横方向の位置決めを容易にするため、車両の両サイドに沿ってフレームに取り付けた横方向車両ガイドと、ずれを確認するための車両位置確認センサーを設けている。車両が横方向にずれなく装入できるように、車両の両サイドに沿ってフレームに取り付けられた横方向車輻ガイド 4 本でおよその位置決めを行い、微調整は車両傾転装置の前後 2 箇所に設置した車両位置確認パトランプの緑色の点灯で確認できるようになっている。車両がずれている場合は、前後どちらかの車両位置確認パトランプが赤色に点灯し、傾転装置が作動しない設定となっている。一方縦方向については、車両位置確認パトランプが緑色に点灯していることを確認しながら、車両前後のタイヤ歯止め方式の縦方向車両ガイド 4 ヶ所にあわせて車両を装置フレームに装入することにより、傾転装置に対する車両の位置決めが可能となっている。車両位置確認センサー及び車両位置確認パトランプを図 3.1.1-4 に、縦方向車両ガイドを図 3.1.1-5 に示す。また、横方向車両ガイドを図 3.1.1-6 に示す。次に、車両傾転装置のフレームへの車両の固定は、フレームの前後に設けた固縛装置で行う。固縛装置は、LEAF を傾転装置フレームに装入後、前後の固縛装置が 65° 立ち上がり、車両の前後を電動シリンダーと連結したベルトスリングを用いて締め付け、車体を固定する装置である。当該装置は、車両の固縛動作と、LIB ユニット取り出し後の車両傾転装置 0° 復元時の固縛解除動作も全て自動で行う機能設計とした。なお、LEAF 以外の車種への汎用性を考慮し、多少形状が異なる車両も固縛可能なベルトスリング方式を採用している。また、各車種形状に対して過度な固縛とならないように、動力源としてトルクリミット機能を有する 0.4kW モートルシリンダー方式を採用し、LEAF の場合は前後を各約 9.8kN で固縛を行っている。車両の正面及び前後での、固縛装置の未作動と作動状況を図 3.1.1-7 示す。

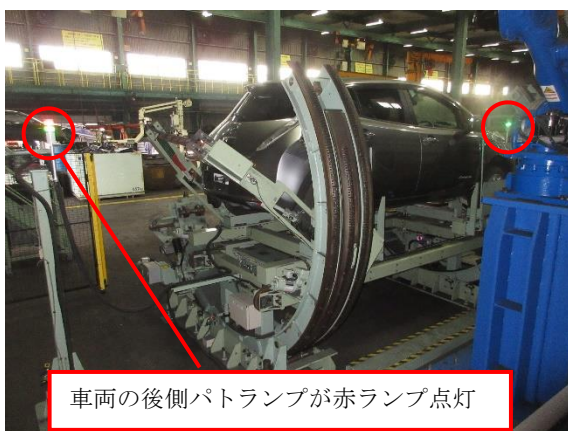


車両位置確認センサー



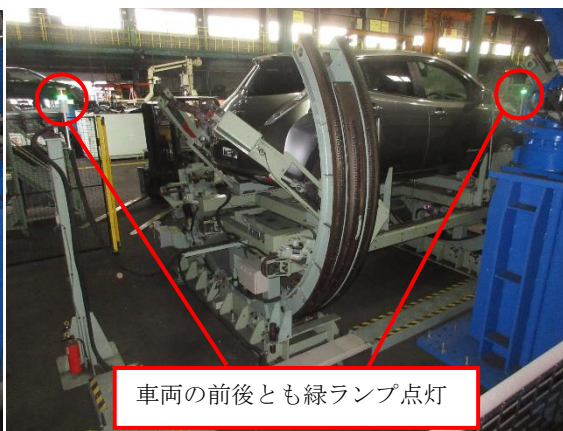
車両位置確認パトランプの左右とも緑ランプ点灯

車両の前後を真直ぐに装入できた状態



車両の後側パトランプが赤ランプ点灯

車両の後側がずれている状態



車両の前後とも緑ランプ点灯

車両の前後が真直ぐな状態

図 3.1.1-4 車両位置確認センサー及び車両位置確認パトランプ



左前 縦方向車両ガイド



左後 縦方向車両ガイド



右前 縦方向車両ガイド



右後 縦方向車両ガイド

図 3.1.1-5 縦方向車両ガイド



左前 横方向車両ガイド



左後 横方向車両ガイド



右前 横方向車両ガイド



右後 横方向車両ガイド

図 3.1.1-6 横方向車両ガイド



固縛装置未作動状態



固縛装置作動状態



前側 固縛装置未作動状態



前側 固縛装置作動状態



後側 固縛装置未作動状態



後側 固縛装置作動状態

図 3.1.1-7 固縛装置

②傾転装置

傾転装置は、幅 440 mm 215° の外リングと幅 180 mm 200° の内リングで構成され、いずれもリングの外周からのチェーン・スプロケットモーター駆動を行っている。モーターは、内リングは 0.4kW2 基、外リングは 0.75kW2 基のギアードモーターを使用した。車両の固縛を完了後、内リングがモーター駆動により伸びて外リングとロックピンで結合し、円状のリングとなる。この状態で、外リングをモーターにより回転させることで、リング内側のフレームに固縛された車両を 90° 横転の状態及び 180° 反転の状態に傾転することを可能としている。傾転装置を図 3.1.1-8 に示す。①は車両を固縛した状態、②は内リングが伸び外リングと結合した状態、③は 90° 傾転した状態、④は 180° 反転した状態である。



①車体の固縛が完了した状態



②内リングが伸び円形になった状態



③90° 傾転した状態

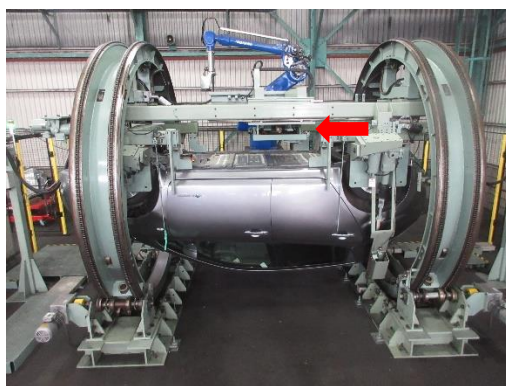


④180° 傾転した状態

図 3.1.1-8 傾転装置

③シフトリフト装置

車両が 180° 反転の状態、ロボットによる LIB ユニット締結ねじの取り外しを完了した後、車両傾転装置のフレームに設置したレールに沿って、シフトリフト装置が LIB ユニットの重心位置に向かって前進する。ユニットの重心位置まで来ると、ジャッキ方式のリフト機能とレーザーセンサーにより LIB ユニットの 2.9kN 程度の力で車体に押し付け、ねじの締結がない状態の LIB ユニットの車体に固定する。次にシフトリフト装置と車体で LIB ユニットの挟んだ状態を保持したまま、180° 反転の状態から 0° の状態まで復元する。復元後、シフトリフト装置のリフト機構が下がり、LIB ユニットが車体から取り外されるといった一連の動作を自動で行う。シフトリフト装置を図 3.1.1-9 に示す。①は LIB ユニットの重心位置へ移動した状態、②LIB ユニットの押し込められている状態、③は 0° 復元後 LIB ユニットの押し込められている状態、④は LIB ユニットの取り外した状態である。



①シフトリフト装置がLIBユニットの重心位置に移動した状態



②シフトリフト装置がLIBユニットを押さえ込んでいる状態



③LIBユニットを押さえ込んだ状態で 0° 位置に戻った状態



④シフトリフト装置がLIBユニットを取り外した状態

図 3.1.1-9 シフトリフト装置

3) LIBユニット締結ねじ取り外しロボット化開発結果

(a) ロボットの全体構成

当該装置は、①車体とLIBユニットを締結しているねじ8箇所へ、ロボットハンドを誘導し、緩められたねじを取り外した後、ねじ回収ボックスへ誘導する「ロボット」、②車体とLIBユニットを締結しているねじの詳細位置をカメラで確認し、ナットランナーでねじを緩める「ロボットハンド」、③ロボット及びロボットハンドで回収されたLIBユニット締結ねじを回収する「ねじ回収ボックス」で構成されている。LIBユニット締結ねじ取り外しロボットを図 3.1.1-10 に示す。左図に示すように、ロボットは車両傾転装置の奥側に配置し、180° 反転した状態の LEAF の LIB ユニット締結ねじの取り外しを行うため、高さ 1.75m の架台上に設置した。また、当該装置に関連する設備のレイアウトは、前述の図 3.1.1-1 の下図に示す。ロボットの左側にねじ回収ボックス、奥にロボットコントローラー、またロボット制御盤は安全柵の左外側に設置した。各装置の、主仕様を表 3.1.1-2 に示す。

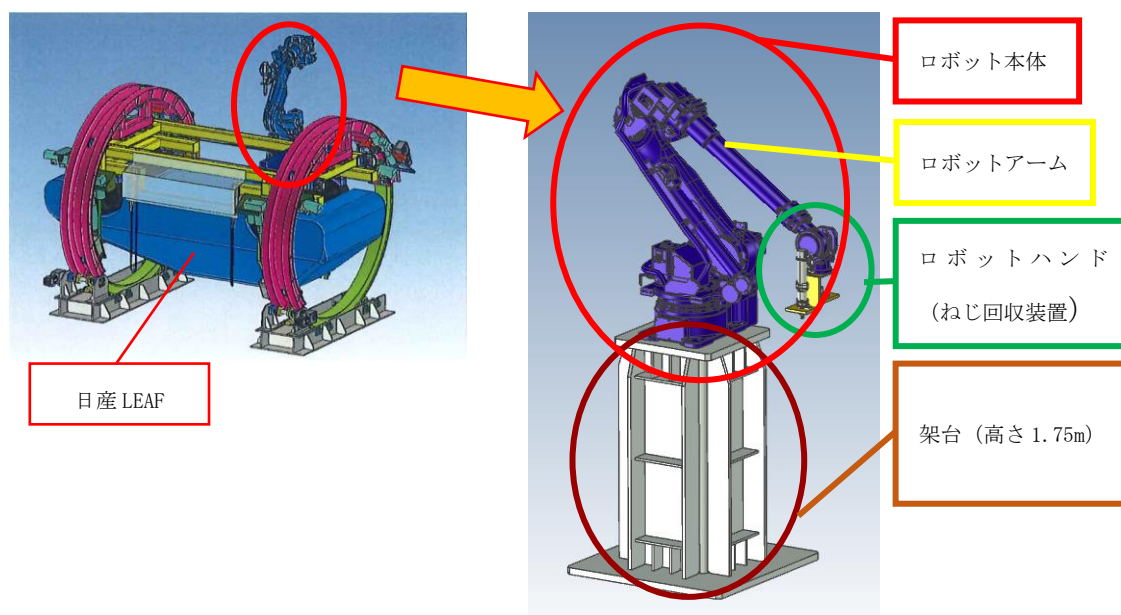


図 3.1.1-10 LIB ユニット締結ねじ取り外しロボット

表 3.1.1-2 LIB ユニット締結ねじ取り外しロボット主仕様

大項目		小項目	仕様
ロボット		(株)安川電機製 MOTOMAN GP180-120	・構造 垂直多関節型 (6 自由度) ・最大リーチ 3058 mm ・可搬質量 手首部 120 kg ・位置繰返し精度 0.05 mm ・許容モーメント 520N・m
ロボットハンド	カメラ	(株)キーエンス製 CA-H200MX	・撮像素子 白黒 CMOS 16 倍速読出し ・有効画素数 1600 (H) × 1200 (V) ・画像転送周波数 195MHz
	ナットランナー	瓜生製作所(株)製 UNR-F100-2500N	・最大締付トルク 250N・m ・最高回転数 370rpm

(b)LIB ユニット締結ねじ取り外しロボットを構成する各装置説明

①ロボット

LIB ユニット締結ねじの取り外し位置まで、ナットランナー及びカメラで構成されたロボットハンドを誘導するためのロボットは、株式会社安川電機製の MOTOMAN GP180-120 を、ロボットコントローラーは YRC1000 を採用した。ロボットは傾転装置の奥に 1750 mm の架台上に設置されており、車両を反転した状態で LIB ユニット締結ねじの取り外しが行なえるように配置されている。ロボットを図 3.1.1-11 に示す。ロボットコントローラー及びロボットコントローラーに付属するプログラミングペンダントを図 3.1.1-12 に示す。構造は垂直多関節型（6 自由度）で可搬質量は手首部 120 kg で、最大リーチは 3058 mm である。ねじの取り外しに関わる主な仕様としては、手首回転許容モーメント 520N・m で位置繰返し精度は 0.05 mm と十分な性能を有している。また、LEAF 以外の他メーカーの車種への汎用性も考慮し、プログラミングペンダントを介して、ねじの位置を学習するティーチング機能を有している。ティーチング作業に関してはプログラミングペンダントを使用し、ロボットの原点位置から LIB ユニット締結ねじ 8 箇所の位置や各ねじを取り外す順番、ねじ回収ボックスの位置、及び誘導経路のベース座標やリンク座標を詳細に入力し、車両傾転装置に干渉せず、効率よく正確にロボットを誘導できるティーチング作業を行った。ティーチングの内容を図 3.1.1-13 に示す。



図 3.1.1-11 株式会社安川電機製ロボット MOTOMAN GP180-120



ロボットコントローラー (YRC1000)



プログラミングペンダント

図 3.1.1-12 ロボットコントローラー

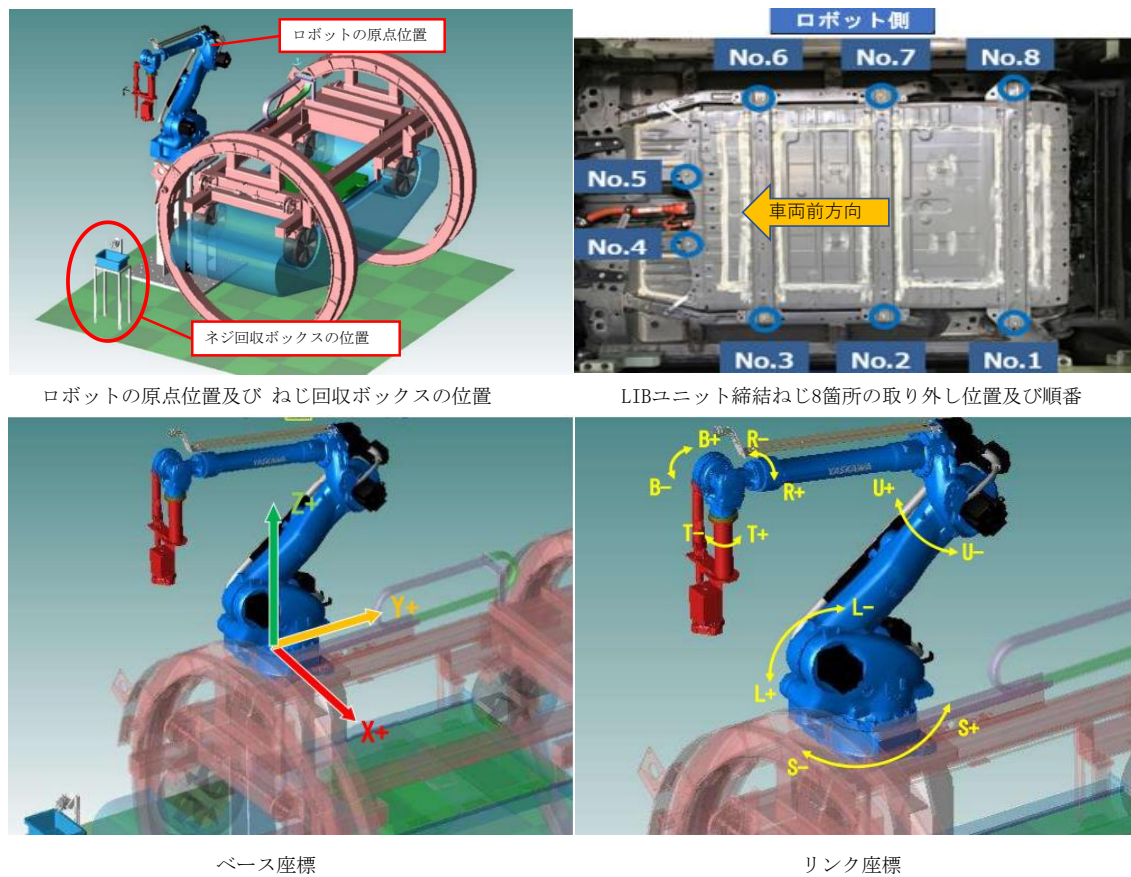


図 3.1.1-13 ティーチング内容

②ロボットハンド

ロボットハンドはLIBユニット締結ねじを緩めるナットランナーと、ねじと結合する部分であるソケット、ねじの詳細位置を画像で認識するためのカメラで構成されている。まず、ロボットにより取り外し対象のLIBユニット締結ねじの付近まで誘導されると、カメラでねじの詳細位置を画像認識し、図 3.1.1-13 のリンク座標 T の動きでナットランナーと入れ替わり、ねじを緩める作業を行う。ロボットハンドを図 3.1.1-14 に示す。図左側の黒色の装置がナットランナー、右側がカメラである。



図 3.1.1-14 ロボットハンド

ナットランナー

LIB ユニット締結ねじ (M12) を取り外すナットランナーは、瓜生製作所株式会社製の UNR-F100-2500NT を採用した。LEAF の LIB ユニット締結ねじは $90\text{N} \cdot \text{m} \sim 130\text{N} \cdot \text{m}$ で締結されている。当該ナットランナーはねじを緩めるトルクを $250\text{N} \cdot \text{m}$ と余裕を持った仕様とした。また、ナットランナーに装着されているソケットには、ネオジム磁石が取り付けられており、取り外した LIB ユニット締結ねじを強力な磁力で回収できるようにしている。ナットランナー及びソケットを図 3.1.1-15 に示す。

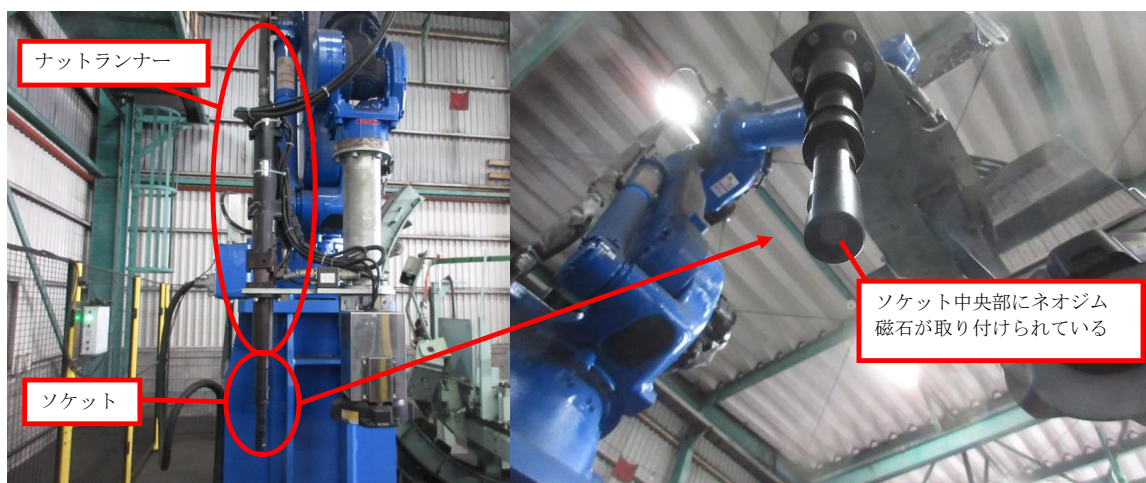


図 3.1.1-15 ナットランナー及びソケット

カメラ

LIB ユニット締結ねじ(M12)とナットランナーを結合させるための詳細な位置を判別するカメラは株式会社キーエンス製のCA-H200MXを採用した。撮影素子は白黒CMOS、正方格子16倍読み出しで有効画素数は1600(H)×1200(V)である。画像の転送はデジタルシリアル伝送で転送周波数は195MHzである。取り外し対象のLIBユニット締結ねじの付近までロボットにより誘導されると、カメラのレンズ周辺に設けられたライトが数回点滅し、ねじを照らすことでカメラがねじの詳細位置を画像認識する。このねじの位置情報をもとに、正確にソケットとねじを結合することができる。補正範囲は車両の前後方向で±25mm、横方向で±15mmである。カメラを図3.1.1-16に示す。

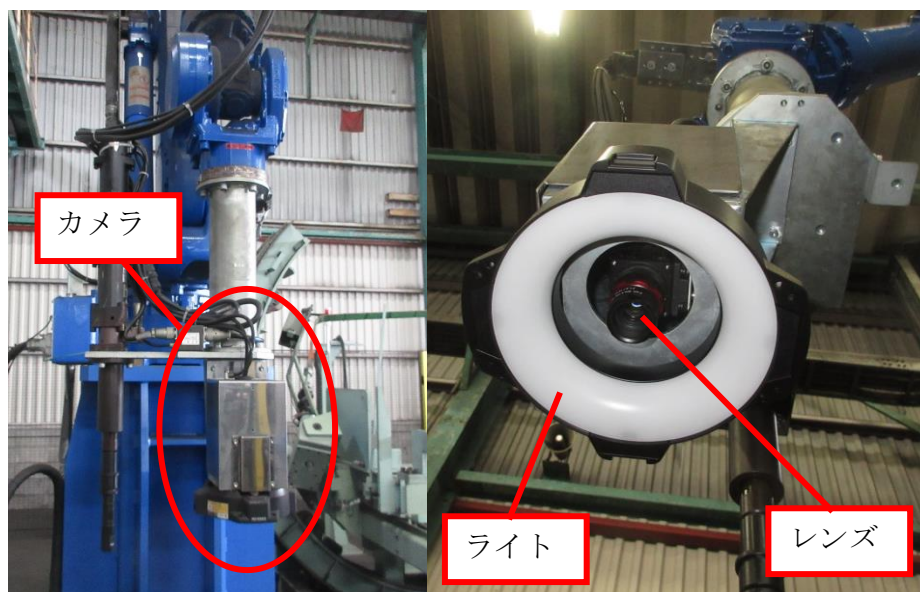


図 3.1.1-16 カメラ

③ねじ回収ボックス

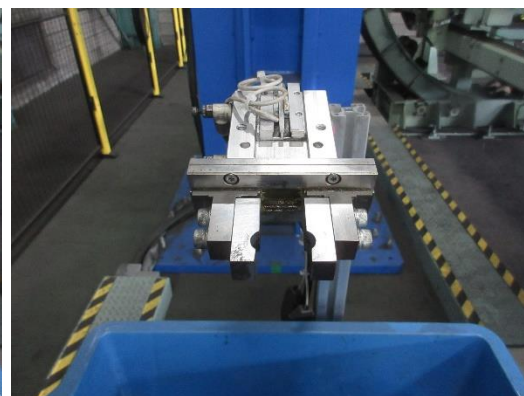
ねじ回収ボックスは、リニアスライドハンド及びリニアスライドハンドの制御装置、樹脂製ボックス、架台で構成されている。まず、ロボットにより回収されたLIBユニット締結ねじは、正確にリニアスライドハンドまで誘導され、リニアスライドハンドのハンド部が閉じ、ねじが挟まれ固定される。ねじが固定された状態でロボットが次のねじの回収に向かうため作動した際に、ソケットの磁力により吸着していたねじがソケットから外れてリニアスライドハンドに残った状態となる。併せてリニアスライドハンドはロボットがねじの回収を成功させたことを確認する。リニアスライドハンドはねじの回収を確認した後、固定していたねじを開放し、リニアスライドハンドの下に配置された樹脂製回収ボックス内に落下させ回収する装置である。ねじ回収ボックスを図3.1.1-17に示す。



ねじ回収ボックス



リニアスライドハンドがねじを固定している状態



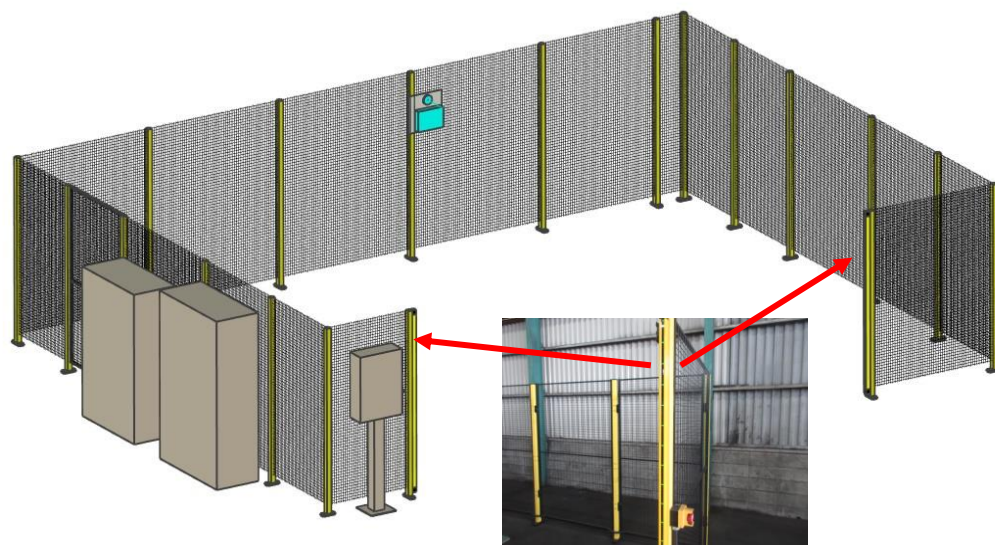
リニアスライドハンドがねじを放した状態

図 3.1.1-17 ねじ回収ボックス

4) LIBユニット取り出し自動化装置の安全対策

(a) 安全柵

LIB ユニット取り出し自動化装置は、LIB ユニット締結ねじを取り外すためのロボットを有しており、労働安全規則に基づき安全柵を設置している。安全柵正面の装入口にはライトカーテンを設けており、設備の作動中にライトカーテンを妨げると設備が停止する設定となっている。安全柵を図 3.1.1-18 に示す。



ライトカーテン

図 3.1.1-18 安全柵

(b) 脱落防止対策

車両傾転装置の固縛装置はベルトスリングを用いて車両を固縛するため、車両の傾転時にベルトスリングが断裂した場合、車両が傾転装置から脱落する恐れがある。これを回避するため、LEAF のシャシの前 2 箇所、後 1 箇所に付いているアンカーと車両傾転装置のフレームに取り付けられているアンカーを脱落防止ワイヤーで固定する方法をとっている。脱落防止ワイヤー取り付け状態を図 3. 1. 1-19 に示す。



LEAF右前側 脱落防止ワイヤー取り付け状態



LEAF左前側 脱落防止ワイヤー取り付け状態

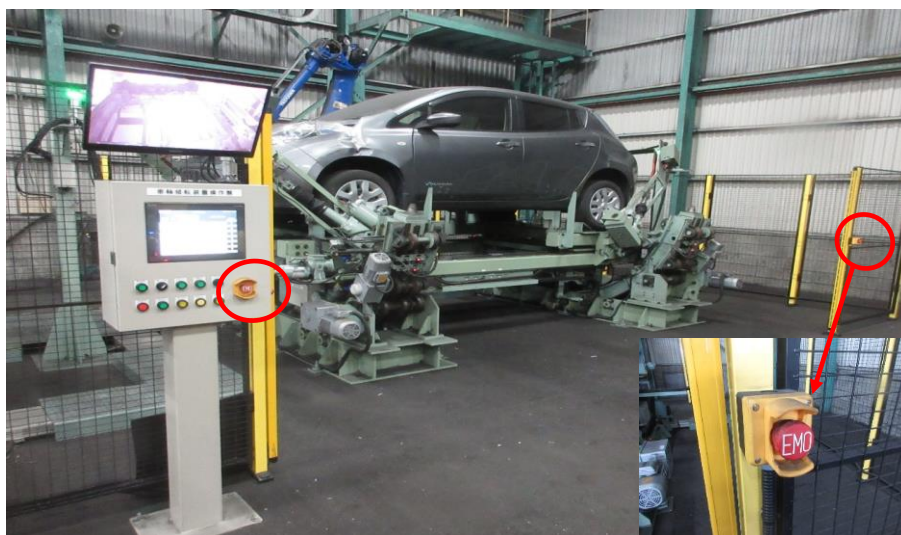


LEAF後側 脱落防止ワイヤー取り付け状態

図 3. 1. 1-19 脱落防止ワイヤー取り付け状態

(c) 緊急停止ボタン

LIBユニット取り出し自動化装置の操作盤及び安全柵の正面装入口と制御盤横作業用扉に、緊急停止ボタンを備えており、緊急時には傾転装置やロボットの作動中でも瞬時に停止することができる。緊急停止ボタンを図 3. 1. 1-20 に示す。



車両傾転装置 正面装入口 緊急停止ボタン



車両傾転装置 制御盤横作業用扉 緊急停止ボタン

図 3. 1. 1-20 緊急停止ボタン

(d) セーフティープラグ

セーフティープラグはオペレーターが設備内に侵入している際に、他の作業員が設備を作動できないための安全装置である。オペレーターが LIB ユニット取り出し自動化装置の安全柵内で作業をする際は、LIB ユニット取り出し自動化装置の正面挿入口からであれば、操作盤の右側面のセーフティープラグを抜き取り、セーフティープラグを携帯した状態で設備内に侵入する。また、制御盤横作業用扉から侵入する際は、出入口右側に設置しているセーフティープラグを抜き取り、セーフティープラグを携帯した状態で

設備内に侵入する。作業完了後にオペレーターは安全柵から退出し、セーフティープラグを挿入することで操作盤による操作が可能となる。セーフティープラグを図 3.1.1-21 に示す。

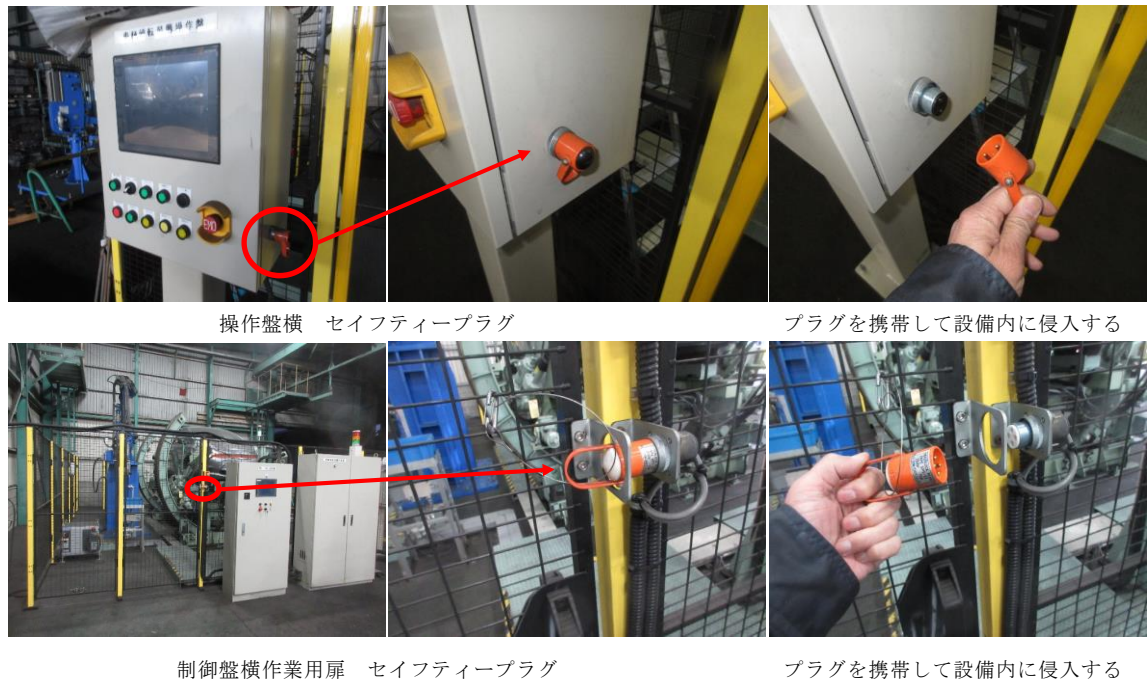


図 3.1.1-21 セーフティープラグ

(e) 90° ロックピン

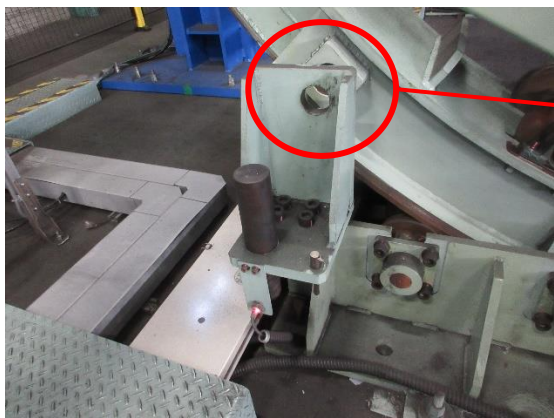
LEAF を傾転装置で 90° 傾転させ、オペレーターが LEAF のアンダーカバーや LIB ユニットのカプラーやねじの取り外し作業を行う際、傾転装置のモーター駆動機器の故障により 90° 状態の保持ができなくなった場合に備えて、傾転装置の外リングの前後 2 箇所 90° ロックピンを設置している。90° ロックピンの未使用時は、傾転装置ベース部のロックピンホルダーに収められており、ホルダーに設置された有無センサーにより、ロックピンが収められていない状態だと、装置が起動しないように設定されている。90° 傾転後、オペレーターは前後 2 箇所の傾転装置の外リングに備えられている 90° ロックピンホルダーにロックピンを手動で挿入することで傾転装置の回転を防止できる。オペレーターの作業完了後は、90° ロックピンホルダーに挿入されているロックピンを、傾転装置ベース部のロックピンホルダーに収めることで装置の起動が可能となる。また、非定常作業の安全対策として、180° 傾転時に機側で作業を行う際に備え 180° ロックピンホルダーも設けている。90° ロックピン及びホルダーを図 3.1.1-22 に示す。



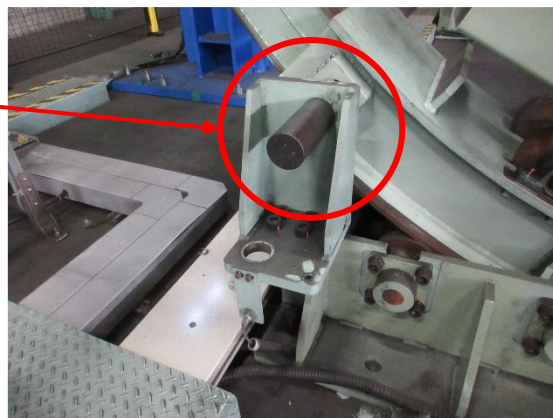
90° ロックピンをロックピンホルダーに収めた状態



90° ロックピン有無センサー



90° 傾転時の90° ロックピンホルダー状態



90° ロックピンホルダーに90° ロックピンを差し換えた状態

図 3.1.1-22 90° ロックピン及びロックピンホルダー

(f) RFID(無線周波数識別)

作業者が2名以上で安全柵内にて作業を行う際に、安全柵から退出していない作業員がいるに係わらず、安全柵を退出した他の作業員が設備を起動しようとした場合、安全柵内に設けられた RFID リーダーが、退出していない作業員の RF タグの電波を感知し、操作盤上の RFID 用の赤色パトランプが点灯し、設備を起動できない対策を取っている。但し安全柵内で作業する全員が RF タグを装着する必要がある。図 3.1.1-23 に RFID リーダーの配置及び RF タグを示す。

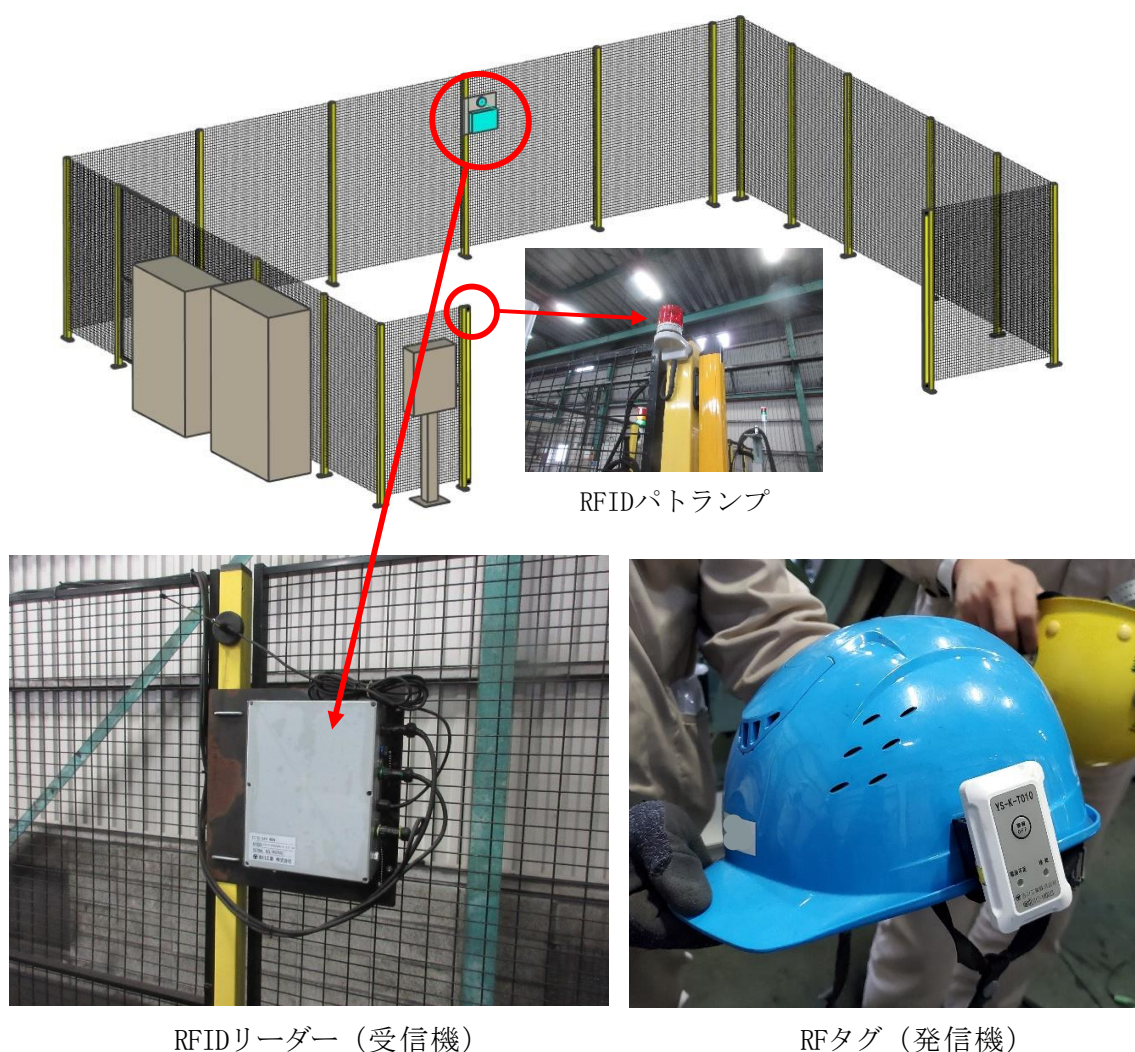


図 3.1.1-23 RFID(無線周波数識別)

5) LIB ユニット取り出し自動化装置の運転動作・作業工程開発結果

(a) 事前準備

LIB ユニット取り出し自動化装置の運転を行う前に、事前準備が必要である。まず、LIB ユニット取り出し自動化装置に接続されたエアーコンプレッサーを起動し、エアー圧力が 0.6MPa 以上まで上昇したことを確認する。併せて LIB ユニット取り出し自動化装置の制御盤内の電源ブレーカーを ON にして、LIB ユニット取り出し自動化装置の操作盤及びロボットの制御盤がモニターを通じて立ち上がったことを確認する。また、LIB ユニット取り出し自動化装置に装入される LEAF も、室内の安全プラグの取り外しや、モータールームの補器バッテリー取り外し及びウォッシャー液の漏れ養生といった事前準備を行う。LIB ユニット取り出し自動化装置の制御盤と操作盤及びロボットの制御盤を図 3. 1. 1-24 に示す。



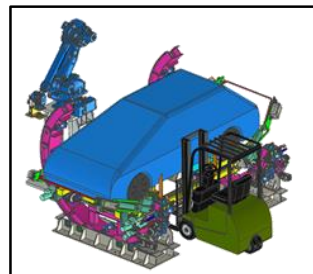
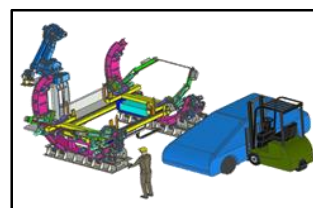
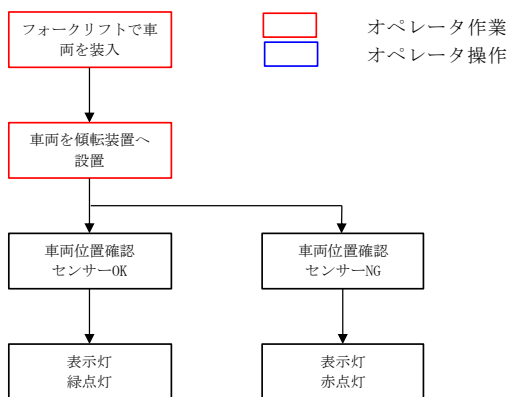
図 3. 1. 1-24 LIB ユニット取り出し自動化装置の制御盤と操作盤及びロボットの制御盤

(b) LIB ユニット取り出し自動化装置の定常運転方法及び動作内容

LIB ユニット取り出し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作フローを図 3. 1. 1-25 に示す。車両を車両傾転装置に装入後、傾転装置で車両を傾転させ、ロボットにて締結ねじを取り外し、再び傾転装置が車両を復元後、LIB ユニットを取り出す一連の運転動作をオペレーター 1 名で行う。以下にその詳細について説明する。

1. 車両を装入

作業者により車両を装入（傾転機は0° 位置）



2. 車両を固定 ⇒ 90° 位置へ傾転

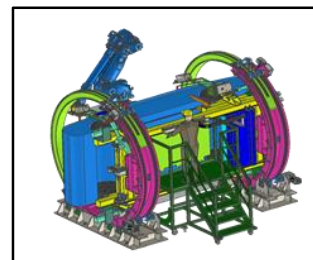
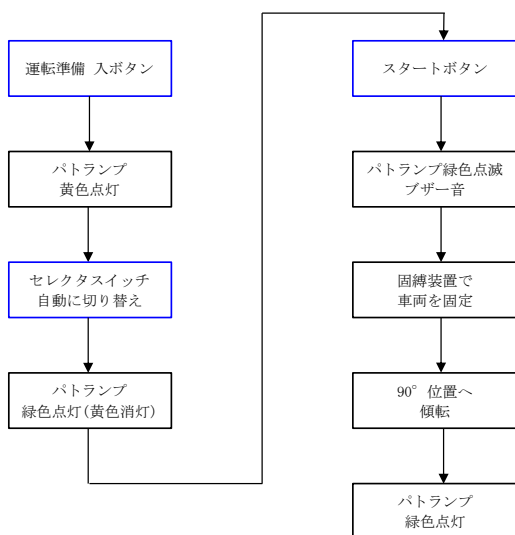
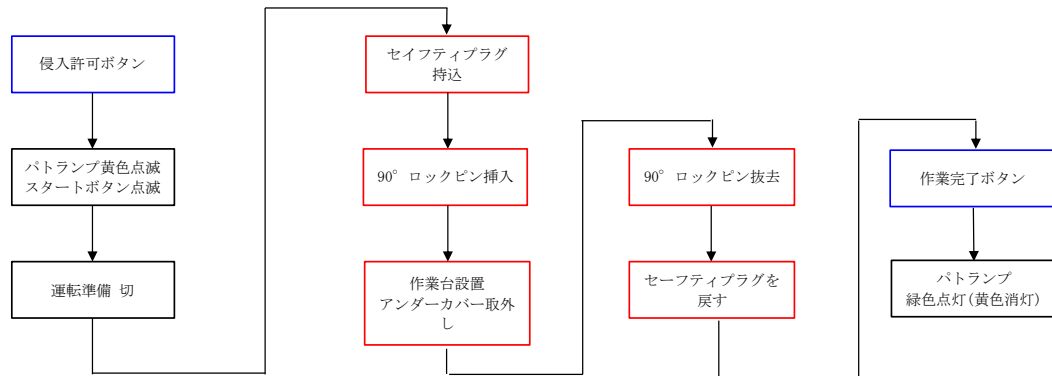


図 3. 1. 1-25 (1) LIB ユニット取り外し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作フロー(1)

3. LEAFアンダーカバーを取外し

作業者によりアンダーカバーの取外し



侵入許可ボタン+セーフティプラグを取り外した状態でライトカーテン無効

4. 90° から180° へ傾転

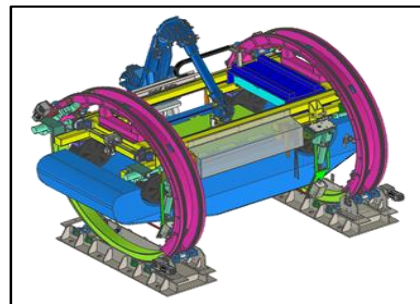
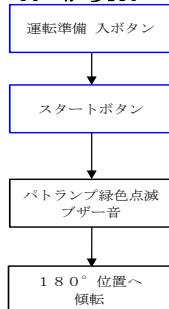


図 3. 1. 1-25 (2) LIB ユニット取り外し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作
フロー(2)

5. ロボットによるLIBユニット締結ねじ取り外し

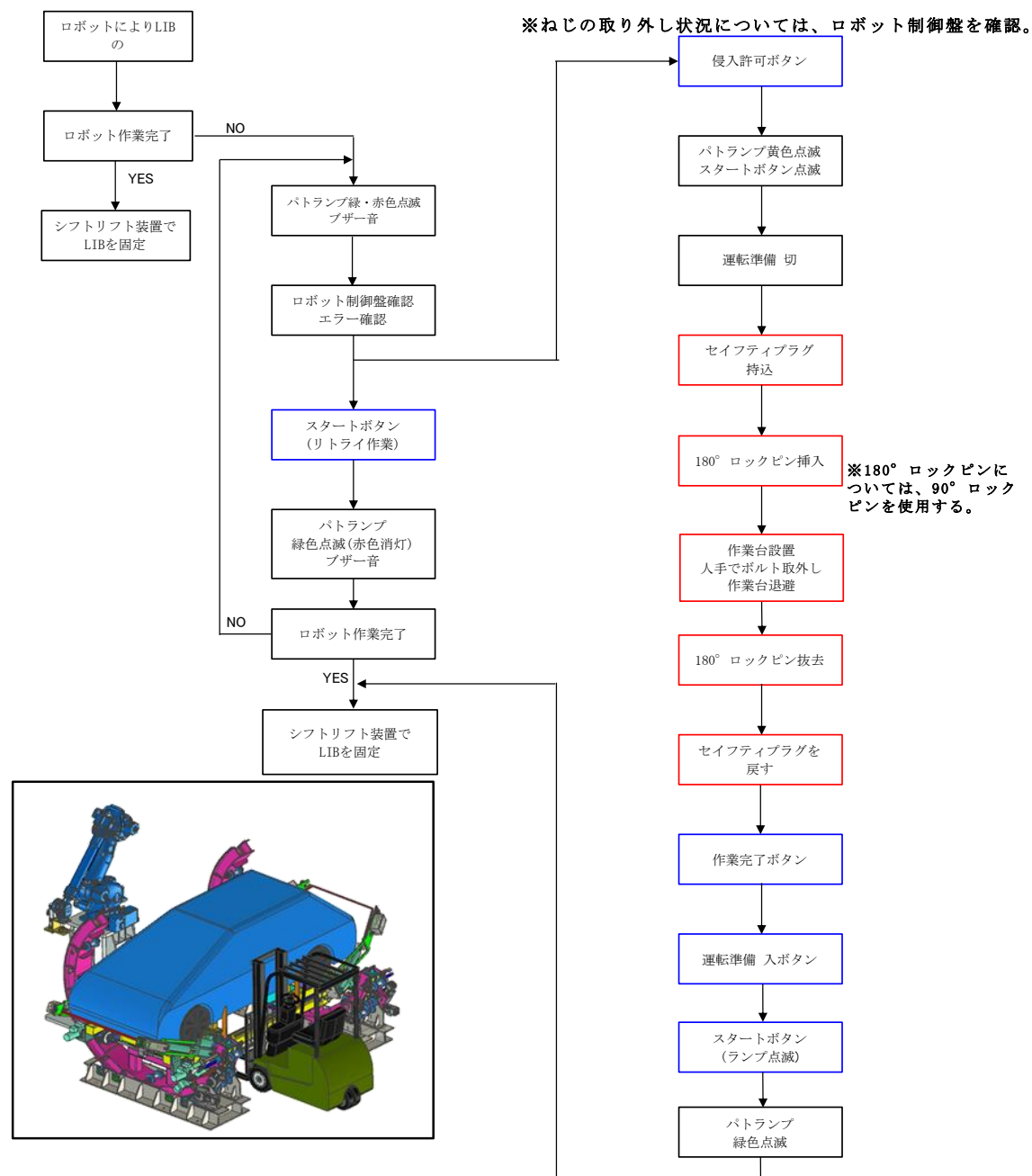
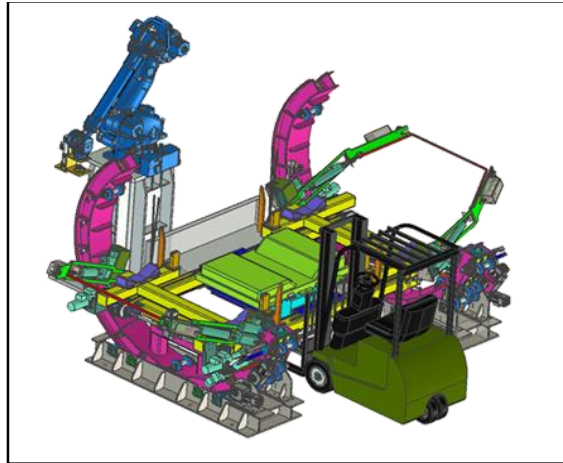
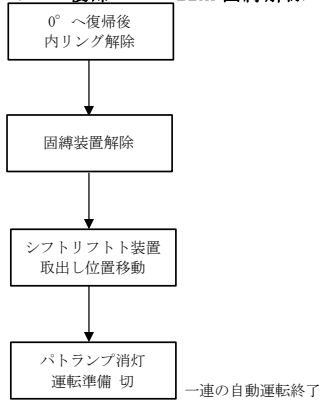


図 3. 1. 1-25 (3) LIB ユニット取り外し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作
フロー(3)

6. 0° へ復帰 ⇒ LEAF固縛解除



7. LEAF・LIBユニットを排出

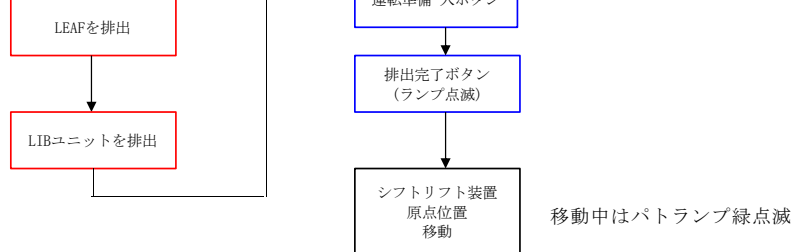


図 3. 1. 1-25 (4) LIB ユニット取り外し自動化装置の運転動作及び作業工程の基本動作
フロー(4)

①LEAF の装入

フォークリフトで LEAF を抱え車両傾転装置に設置する際は、装入方向に対し LEAF の前側を左向きに、後側を右向きに設置する。LEAF を装置へ装入する作業工程と運転動作は図 3. 1. 1-25 の「1. 車両を装入」に示す。設置を完了した後、作業員は LEAF のシャシの前 2 箇所、後 1 箇所に付いているアンカーと車両傾転装置のフレームに取り付けられているアンカーを脱落防止ワイヤーで締結する。LEAF を車両傾転装置に装入した状態を図 3. 1. 1-26 に、脱落防止ワイヤーの締結作業を図 3. 1. 1-27 に示す。



図 3. 1. 1-26 LEAF を車両傾転装置に装入した状態



左前側 脱落防止ワイヤー取付



右前側 脱落防止ワイヤー取付



後部 脱落防止ワイヤー取付

図 3. 1. 1-27 脱落防止ワイヤー締結作業

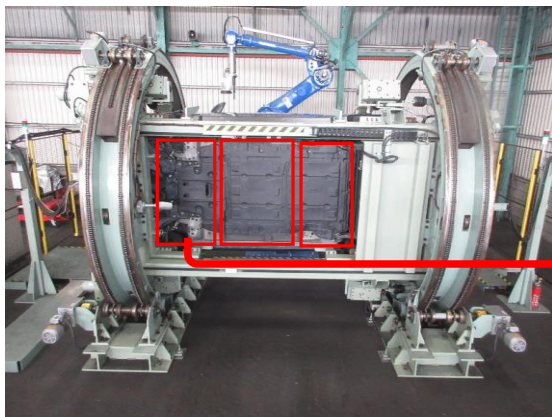
②LEAF の固縛から 90° 位置へ傾転

LIB ユニット取り出し自動化装置の固縛から 90° 位置までの傾転操作内容については、前述の図 3.1.1-25 の「2. 車両を固定→90° 位置へ傾転」を参照とする。

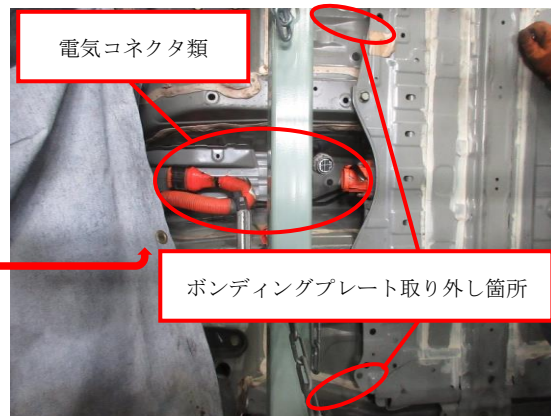
③LEAF の 90° 位置での手作業内容

90° 位置へ傾転を完了した後、作業員は LIB ユニット取り出し自動化装置の操作盤の侵入許可ボタンを押し、パトランプが黄色点滅になったことを確認する。次に操作盤横のセイフティープラグを抜き取り、当該作業員が携帯した状態で安全柵内に侵入し、車両傾転装置の前後の傾転リング下に設けられた、90° ロックピンをロックピンホルダーから傾転リングのピンホルダーにそれぞれ挿入する。90° ロックピン挿入後は安全柵外に保管している作業台を、90° 傾転させた LEAF の LIB ユニットの正面に設置し、LEAF のアンダーカバー、高電圧ハーネス他コネクタ、ボンディングプレート、LIB ユニット後側締結ねじ 4 箇所を取り外す。その際、ねじや樹脂のファスナーが車両傾転装置の駆動部に入り込まないように、作業台の左右に備えられたねじ侵入防止カーテンを展開する。また、外したアンダーカバーは作業台の右側に備えているポケットに収納する。手作業での取り外し作業完了後は、作業台を安全柵外の保管場所に移動させた後、車両傾転装置の前後 2 箇所のリングに挿入している 90° ロックピンをロックピンホルダーにそれぞれ差し替える。傾転リングのロック解除後、作業員は安全柵の外へ退避し、操作盤横にセイフティープラグを差し込み、操作盤の作業完了ボタンを押すことで 90° 傾転時での作業は完了となる。

90° 傾転時の手作業による取り外し箇所を図 3.1.1-28 に、作業台を図 3.1.1-29 に示す。



アンダーカバー 3枚取り外し



ボンディングプレート2箇所及び電気コネクタ類



後部LIBユニット締結ねじ4本

図 3.1.1-28 90° 傾転時の手作業による取り外し箇所



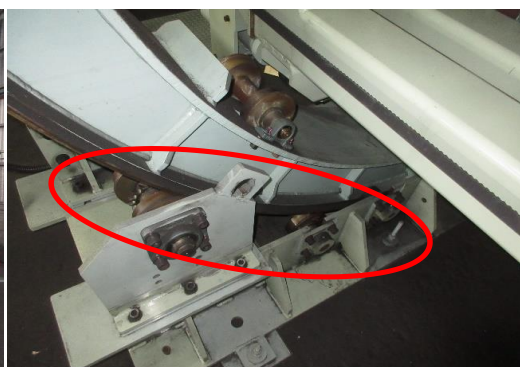
作業台



アンダーカバー収納ポケット



90° 傾転時に作業台を設置した状態



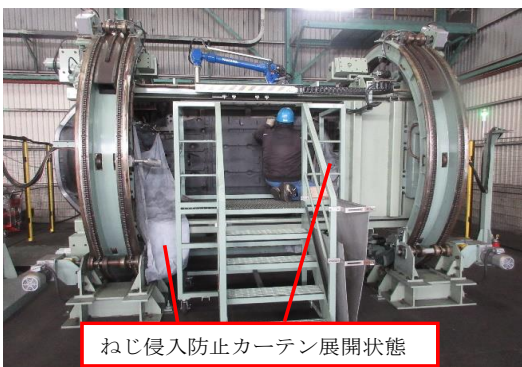
車両傾転装置の駆動部



作業台 左側ねじ侵入防止カーテン



作業台 右側ねじ侵入防止カーテン



ねじ侵入防止カーテン展開状態

90° 傾転時の手作業



作業台の移動作業

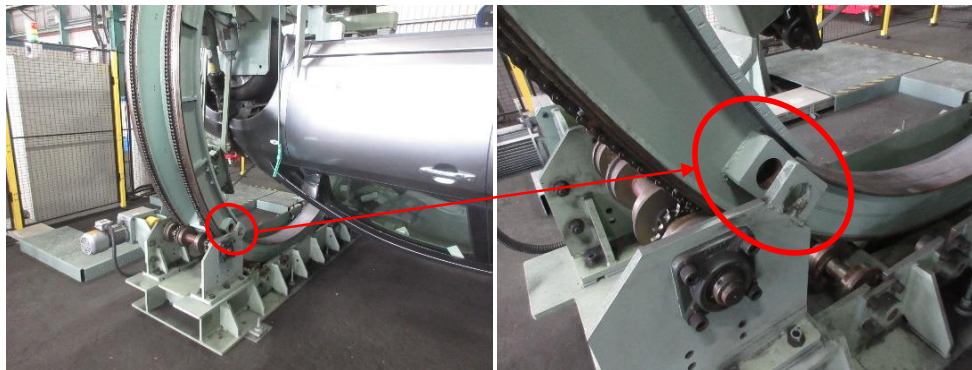
図 3.1.1-29 作業台

④90° から 180° へ傾転

操作盤の運転準備ボタンを押し、スタートボタンを押すとブザー音が鳴り、90° 傾転状態から 180° へ傾転を開始する。当該工程から⑤ロボットによる LIB 締結ねじ取り外し、⑥180° から 0° へ傾転及び LIB ユニット取り出しの一連の運転動作を自動で行う。自動運転動作については、図 3.1.1-25 の「4. 90° から 180° へ傾転」「5. ロボットによる LIB ユニット締結ねじ取り外し」「0° へ復帰→LEAF 固縛解除」を参照とする。

⑤ロボットによる LIB ユニット締結ねじの取り外し

傾転が 180° に到達すると自動でロボットが起動し、ロボットはまず、ねじ回収ボックスのリニアスライドハンドの位置を確認する。その後 LIB ユニット締結ねじを 1 本ずつ順番に取り外しを開始する。ロボットはねじを 1 本回収する毎にリニアスライドハンドの位置に誘導し、リニアスライドハンドが LIB ユニット締結ねじを挟み固定する。ロボットは次の作動を開始するため、リニアスライドハンドに固定されたままのねじはナットランナー先端のソケットから引き離される。その後リニアスライドハンドが開き、固定されていたねじが樹脂製の回収ボックス内に落下し回収される。この動作を LIB ユニット締結ねじ 8 箇所分に対し実行する。ロボットはすべてのねじを回収し終わると、原点位置に戻り停止する。また、ロボットが LIB ユニット締結ねじの回収に失敗した場合は、8 箇所の回収作業を終え原点位置で停止した後、パトランプの緑色と赤色が同時点滅しブザーが鳴る設定としている。ロボットは未回収のねじの位置を覚えており、スタートボタンを操作することで未回収ねじの取り外しリトライ作業を実施する。それでも回収が困難な場合は、侵入許可ボタンを操作し、作業員により手作業でねじの回収を行う。その際は 180° ロックピンホルダーに 90° ロックピンを挿入し、非定常作業時の安全対策を講じている。定常作業で LIB ユニット締結ねじの回収を完了しロボットが停止すると、自動でシフトリフト装置が LIB ユニットの重心位置まで前進し停止する。次にシフトリフト装置が作動して LIB ユニットの車体側に押しつけた状態で、180° 傾転時の作業工程は完了し、引き続き自動で次工程の傾転動作に移る。図 3.1.1-30 に 180° ロックピンホルダーを示す。



180° 傾転時のロックピンホルダーの状態



180° ロックピンホルダーに90° ロックピンを挿入した状態

図 3.1.1-30 180° ロックピンホルダー

⑥180° から 0° へ傾転及び LIB ユニット取り出し

車両傾転装置は、シフトリフト装置が LIB ユニットの車体側に押し付けた状態を維持したまま、180° 傾転状態から 0° の位置に復帰を開始する。0° 位置に復帰を完了すると、続けて車両傾転装置の内リングが解放を開始する。内リングの解放を完了すると、シフトリフト装置が LIB ユニットの車体から下降させ、続けて LIB ユニットのフォークリフトで搬出しやすい中央位置にシフトし、LIB ユニットの取り出しを完了する。LIB ユニットの取り出しを完了すると、前後の固縛装置のベルトスリングを緩め固縛を解いた後、固縛装置が 65° 傾動し、一連の自動運転は完了となる。同時に運転準備が切の状態となるので、安全柵内の侵入や LEAF 及び LIB ユニットの搬出が可能となる。

⑦LEAF 及び LIB ユニットの排出

作業員は、LEAF のシャシの前 2 箇所、後 1 箇所のアンカーと車両傾転装置のフレームを繋いでいる脱落防止ワイヤーを取り外す。脱落防止ワイヤーの取り外し後、フォークリフトで LEAF を車両傾転装置から排出し、所定の場所へ保管する。次に、LIB ユニットのフォークリフトで車両傾転装置から排出し、所定のパレットへ保管する。それぞれ

の保管を完了した後、オペレーターは操作盤の運転準備ボタンを押し、次に排出完了ボタンを押すと、シフトリフト装置が待機位置に戻り、すべての運転動作・作業工程を完了する。LEAF 及び LIB ユニットの排出作業を図 3. 1. 1-31 に示す。



図 3. 1. 1-31 LEAF 及び LIB ユニットの排出作業

(c) LIB ユニット取り出し自動化装置の異常時の操作

①異常時

車両傾転装置の作動中において、セーフティープラグの取り外し、安全柵のライトカーテン遮断、非常停止ボタンの操作、車両傾転装置の故障のいずれか異常が発生した場合、ただちに車両傾転装置が停止し、パトランプの赤色が点灯と同時に異常警報のブザーが鳴る設定となっている。

②異常からの復旧

まず、操作盤のブザー停止ボタンを押し、異常となった原因を解決後に異常リセットボタンを押す。次に運転準備ボタンを押し、パトランプが赤色点灯から緑色点灯に変わ

ったことを確認し、スタートボタンを押すと、異常停止時の状態からリスタートを開始する。

③強制完了

0° から 180° 間（ロボット作動前）での強制完了操作

自動運転中で車両傾転装置が停止中の条件において、傾転装置の傾転角度が 0° から 180° 間（ロボット作動前）で強制完了ボタンを操作した場合は、パトランプの緑色を点滅させ、傾転角度を 0° に復帰し、内リングを開放した後に固縛装置が固縛を解除し、同時にパトランプが消灯し運転準備が切の状態となる。

180° から 0° 間（ロボット作動後）での強制完了操作

自動運転サイクルの途中で車両傾転装置が停止中の条件において、傾転装置の傾転角度が 180° から 0° 間（ロボット作動後）で強制完了ボタンを操作する場合は、ロボットが動作の途中であれば、ロボットの制御盤モニターを操作し、ロボットを原点位置に移動させた後に行う。強制完了ボタンを押すとパトランプの緑色を点滅させ、LIB ユニットと車体を締結しているねじの有無は関係なくシフトリフト装置が起動し、LIB ユニットの車体側に押し付ける。車両傾転装置は LIB ユニットのシフトリフト装置により車体側に押し付けられた状態を維持したまま傾転角度を 0° に復帰し、内リングを開放した後に固縛装置が固縛を解除及び傾動する。同時にパトランプが消灯、運転準備が切の状態となる。

（3）今後の課題

LIB ユニット取り出し自動化装置については、作業効率の向上と、LEAF 以外の EV 車からの LIB ユニット取り出しの汎用性検討を次年度の課題とする。

1) 作業効率の向上

- LEAF のアンダーカバー取り外しについて、樹脂製ファスナーの取り外し及びアンダーカバー取り付けねじの取り外し作業の効率化の検討
- ロボットによる LIB ユニット締結ねじの回収速度の向上を検討

2) 汎用性

- LEAF 以外の EV 車からの LIB ユニット取り出しの汎用性検討

3. 1. 2 LIB ユニット取り出し助力装置の検討

FIT3 の LIB ユニット取り出し方法の一連の作業の内、LIB ユニートを車両から降ろす際の作業員の安全性や作業効率の改善を目的とした、LIB ユニット取り出し助力装置の設計製作及び作動確認を行った。

(1) 昨年度の成果と課題

FIT3 はハイブリット車 (HV) であるため、LIB ユニートは小型で室内のラゲッジルームの下に搭載されている。しかし、小型の LIB ユニートとはいえ、LIB ユニートの重量は 37 kg 程度あるため、取り出し時は 2 名で取り出す必要があり、しかも狭いラゲッジルーム内での作業となるため、安全な作業姿勢がとり難いとともて誤って LIB ユニートを落下させる危険性を持つ。従って、LIB ユニートを 1 名で安全かつ効率的に取り出すことを課題とした。一方、他メーカーのハイブリット車 (HV) では LIB ユニートを運転室内に搭載している場合もあり、ラゲッジルーム以外からの取り出しにも対応できる汎用性の面から、ロボットによる LIB ユニート取り出し省力化の適用は難しく、搭載位置に対する汎用性を備えたトーヨーコーゲン(株)の助力装置を採用した。併せて助力装置と LIB ユニートを接続する治具についても、FIT3 以外の車種にも対応できる設計とした。なお、LIB ユニートの取り出し時間については、FIT3 の LIB 取り出し作業の目標時間として、作業員 1 名の対応で 1 台あたり 15 分を目標とした。この時間は、2. 3 節に示す 2025 年の九州エリアでの FIT3 廃車発生予測である 14.4 個/日を包含するものである。

(2) 本年度の成果

本年度は、LIB ユニート取り出し助力装置の設計製作及び作動確認を行った。

1) LIB ユニート取り出し助力装置の設置レイアウトと装置構成

LIB ユニート取り出し助力装置全体レイアウトを図 3. 1. 2-1 に示す。FIT3 の装入及び排出をフォークリフトで効率よく容易に行うため、LIB 取り出し助力装置を中央に配置し、FIT3 の後部を助力装置側に向け、若干斜めに装入する事とした。また、LIB 取り出し助力装置を車両傾転装置に隣接して設置し、1 名の作業員で助力装置と車両傾転装置の操作及び作業を並行して出来るように配した。助力装置を図 3. 1. 2-2 に示す。

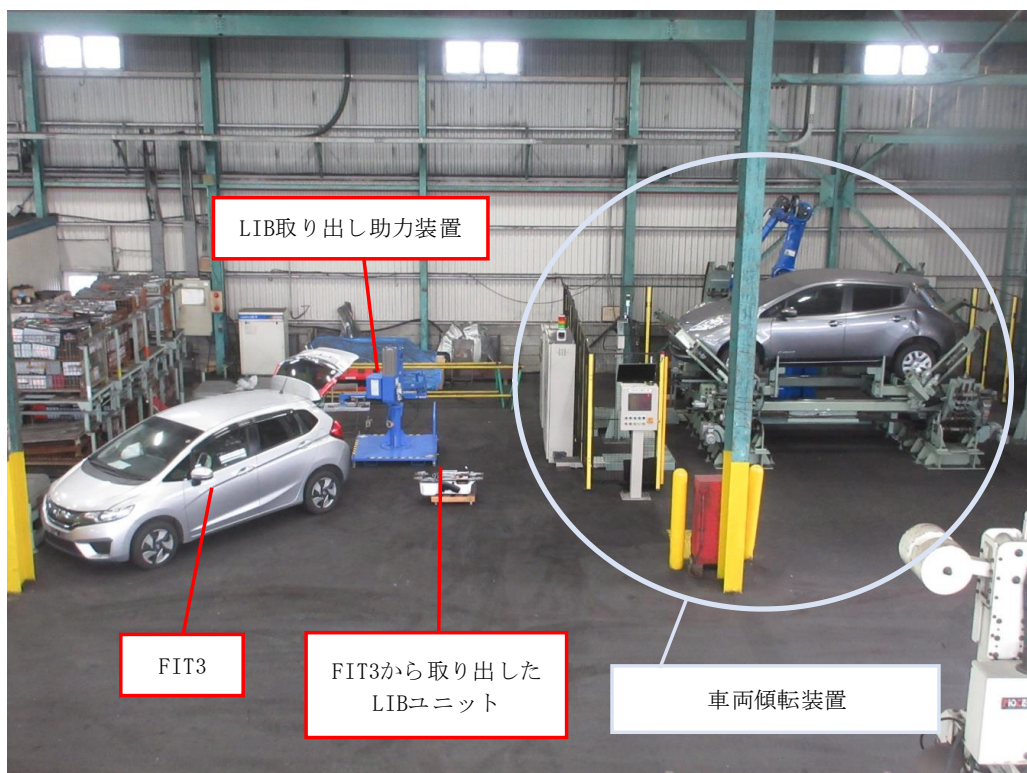


図 3. 1. 2-1 LIB ユニット取り出し助力装置全体レイアウト



図 3. 1. 2-2 LIB ユニット取り出し助力装置

2) LIB 取り出し助力装置の実機開発結果

(a) 助力装置

助力装置のメーカーはトーヨーコーケン(株)製で名称は「バラマン」型式は BMS-125 である。当該装置は空気を動力源として荷を吊り上げることで、作業への負荷を軽減するマテハン機器である。操作方法については、上昇ボタン、下降ボタン、バランスボタンを使用して行う。作動に必要な使用空気圧は 0.54MPaG で、最大吊上げ荷重はアタッチメント重量を含む 100 kg としており、FIT3 の LIB ユニット重量の 37 kg に対し、十分な揚力を備えている。また、最大作業半径は R2,390 mm とし、有効作業範囲は 1,735 mm で、最大作業高さは 1,574 mm まで上昇させることができるため、FIT3 のラゲッジルームの LIB ユニットには容易にアクセスを可能としている。助力装置「バラマン」の主仕様について表 3.1.2-1 に示す。

表 3.1.2-1 LIB ユニット取り出し助力装置の主仕様

大項目	小項目	仕様
LIB ユニット 取り出し助力装置	トーヨーコーケン(株) バラマン仕様 BMS-125	・最大吊上げ加重 100 kg ・ワーク質量 MAX. 60 kg ・最大作業半径 R2390mm ・有効作業範囲 1535 mm ・有効作業高さ 1500 mm ・使用空気圧 0.54MPaG ・本体+台座質量 180 kg+600 kg

(b) LIB 取り出し助力装置アタッチメント

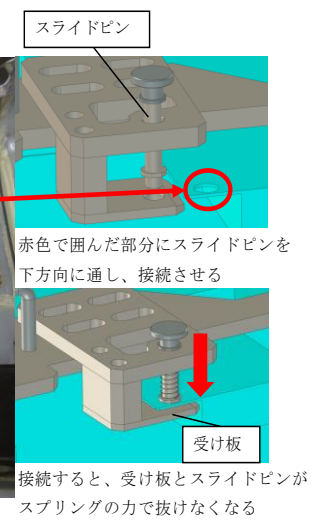
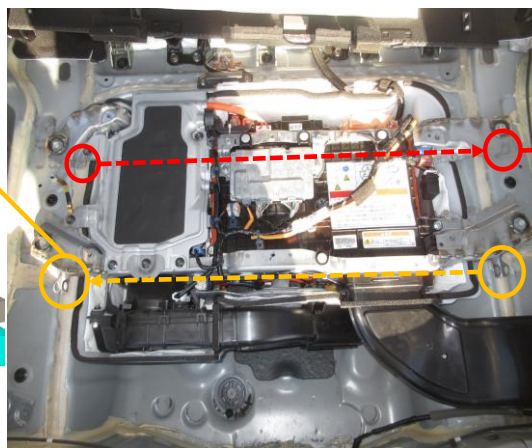
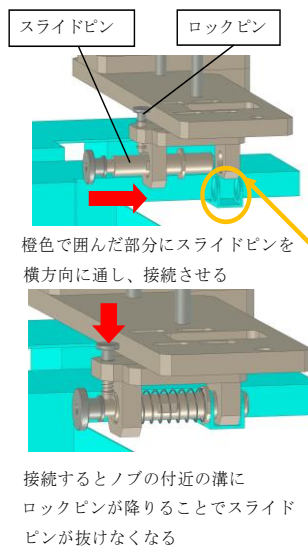
LIB 取り出し助力装置アタッチメントは、FIT3 の LIB ユニットの安全かつ効率よく取り出すための治具であり、長方形型をしたアルミフレームの四隅にチェーン取り付け穴を設け、短手側両方に FIT3 の LIB ユニット専用アタッチメントをチェーンで吊るした形状としている。アタッチメントには、LIB ユニット左右の取り付け穴に合うピンを有しており、ピンを 4 箇所接続することで、LIB ユニットの安定した状態で取り出しを可能としている。また、アタッチメントを取り外し、フック式に変更することで、FIT3 以外の車種にも対応できるように汎用性を持たせている。LIB 取り出しアタッチメントを図 3.1.2-3 に示す。



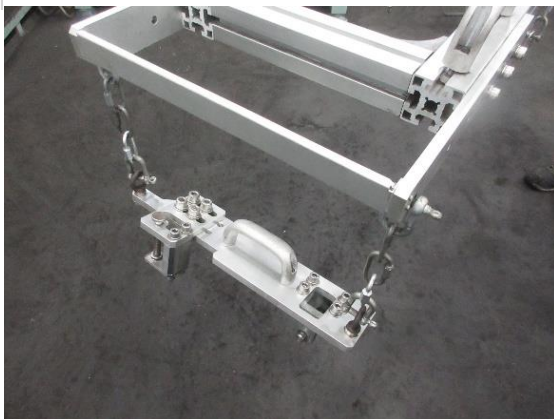
アタッチメント



LIBユニットを吊り上げた状態



アタッチメントとLIBユニット接続部分の詳細



FIT3専用アタッチメント



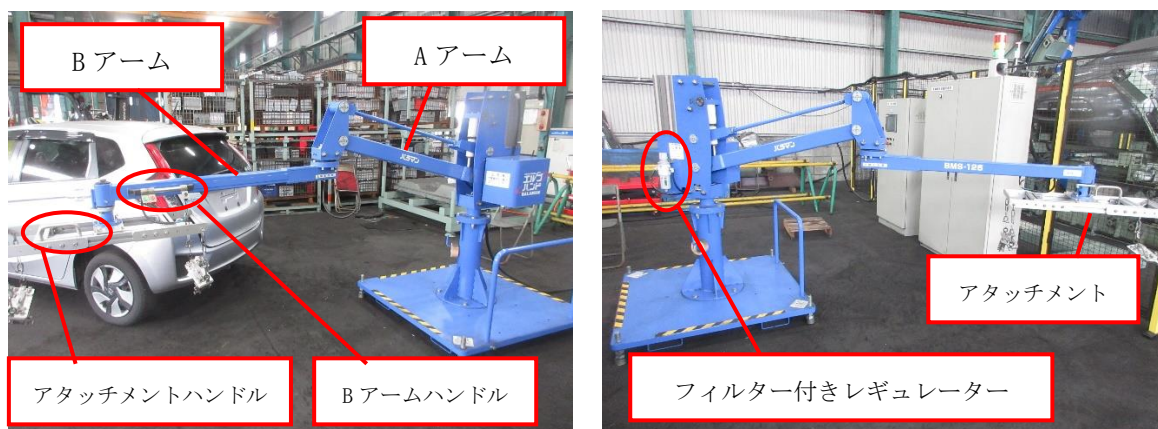
他車種用汎用フック式アタッチメント

図 3.1.2-3 LIB 取り出しアタッチメント

3) LIB 取り出し助力装置の操作方法

(a) 事前準備及び操作

まず、エアーコンプレッサーを起動し、エアー圧力が使用空気圧である 0.54MPaG 以上に上昇したことを確認した後、助力装置本体横のフィルター付きレギュレーターの圧力ゲージ指示圧が 0.49MPaG であることを確認する。次に助力装置アタッチメントのフレームに取り付けられたハンドルと、助力装置の B アームに取り付けられたハンドルをそれぞれ両手で持ち、B アームのハンドル部に取り付けられた操作ボタンの「上」を押し続け、アタッチメントの待機場所から作業員が移動できる状態まで上昇させる。上昇させた後、操作ボタンの「B」を一度押すことで、その高さからハンドルを持った状態で、助力装置を自由に上下させることができる。このバランス状態で FIT3 のラゲッジルームにアタッチメントを挿入させ、LIB ユニットの真上まで移動したところで一旦止める。次にアタッチメントが LIB ユニットと接続できる高さまで「下」を押し続け、ボタンを放すと助力装置は下降を停止する。その状態で、LIB ユニットの取り付け穴とアタッチメントの接続ピンを 4 箇所接続し、接続状態を確認した後「上」ボタンを押して LIB ユニットの任意の高さまで上昇させる。その後「B」ボタンを押し、バランス状態にして FIT3 のラゲッジルームから取り出し作業を行う。取り出し後はバランスの状態を保管パレットまで移動させ、「下」ボタンを押し、アタッチメントの吊りチェーンが弛むまで LIB ユニットの保管パレットに下降させた後、アタッチメントの接続ピンを取り外す。取り外し完了後はアタッチメントを待機場所に移動させ、作業完了となる。事前準備及び一連の操作を図 3.1.2-4 に示す。

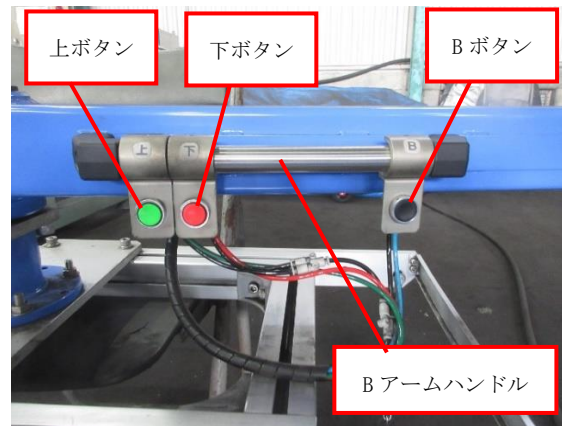


a) LIB ユニット取り出し助力装置各部名称

図 3.1.2-4(1) 助力装置の事前準備及び一連の操作(1)



b) 圧力ゲージ指示圧 0.49MPaG を確認



c) 操作ボタン



d) 助力装置のアームを上昇



e) アタッチメントをラゲッジルームに挿入



f) LIB ユニットを取り出し



g) LIB ユニットをパレットへ移動

図 3.1.2-4(2) 助力装置の事前準備及び一連の操作(2)



h) LIB ユニットのパレットへの定置



i) アタッチメントを取り外し



j) アタッチメントを待機場所へ移動

図 3. 1. 2-4(3) 助力装置の事前準備及び一連の操作(3)

(3) 今後の課題

LIB ユニット取り出し助力装置については、作業効率の向上と FIT3 以外の HV 車からの LIB ユニット取り出しの汎用性検討を次年度の課題とする。

1) 作業効率の向上

- LIB ユニートを吊り上げるための接続部について、接続時間の短縮を狙った形状の検討
- LIB ユニット取り出し助力装置と LIB ユニット取り出し自動化装置との同時並行作業の最適化を検討

2) 汎用性

- FIT3 以外の車種について、搭載方法やバッテリーユニットの形状の違いを含めた取り出し実証検証を検討

3. 2 LIB ユニットのリユース・リサイクルに関する検討

リユースについては、回収した LIB をユニット単位でのリユース可否を評価するための技術調査・検討を行った。また、LIB のリユースによる蓄電池化に係る技術検討を行い、電力供給用途として利用可能性を調査・検討した。

リサイクルについては、安全かつ効率的な LIB 解体の前段として必要となる、ユニット単位での放電を技術検討し、安全な放電技術を実証した。また、放電後のユニットの解体に関しては、ユニットからモジュール又はセルの状態までの安全かつ効率的な解体のため、電池解体作業のボルト外し等、一部工程にロボット技術を活用することを検討した。

3. 2. 1 LIB ユニット劣化診断

LIB は、他の蓄電池と同様、電池容量が使用状況、時間及び放電時間により徐々に減少する。本実証事業では、使用済みの車両に搭載されている、ある程度の劣化が予想される LIB を対象とし、リユース・リサイクルシステムを実証する。本実証事業は北九州地区で車両から LIB を取り外し、その近傍で LIB の健全性を診断、リユース・リサイクルに振り分けることを想定するため、LIB の輸送は簡便である。しかしながら、将来、様々な拠点に点在する自動車リサイクル事業者が取り外した LIB を対象とする場合には、取り外しと同時に健全性を診断し、リユース又はリサイクル拠点へ振り分けることで LIB の輸送コスト及び輸送に係る環境負荷削減につなげることが可能である。

(1) 昨年度の成果と課題

1) 検討方針

昨年度は、自動車リサイクル事業者若しくは LIB の回収運搬事業者が LIB の健全性を評価できるよう、汎用性が高い技術を用いた LIB の劣化診断方法を検討した。

2) 劣化診断技術の比較検討

リチウムイオン電池は、充放電サイクルや長期保存(放置)により、容量低下や内部抵抗増加といった劣化現象が起きることが知られており、劣化度若しくは健全性と呼ばれる電池の劣化現象の程度を把握するための劣化診断技術の開発が進められている。

LIB の健全性を評価する指標の1つである SOH は「State of Health」の略で、次式で Q_0 : 初期の満充電容量(Ah)を 100%とした際の、 Q : 実際の満充電容量(Ah)の割合を指す。つまり、SOH 50%の電池は、満充電の状態にしても初期の半分の容量しか持たない電池になっていることを表している。

$$\text{電池の劣化度(SOH)} = Q / Q_0 \times 100 \quad (\%) \quad Q_0 \cdots \text{定格容量}$$

SOH の算出には実際の満充電容量を測定しなければならず、本検討では現在開発されている車載 LIB の劣化診断手法として、充放電法、充放電曲線解析法、BMS データ利用、交流インピーダンス法並びにゴイク電池法について比較検討を行った。以下に各劣化診

断方法の内容を示すとともに、表 3.2.1-1 に比較結果をまとめた。

①充放電法

充放電法は、満充電から放電停止電圧まで放電し、放電電力量と電池の定格容量とを比較する方法である。実際の二次電池の充電と放電から電池容量を算出するため、正確な SOH を測定することができる。一方で、満充電容量の測定に際し充放電を繰り返すため、電池容量に応じた電力を必要とし、測定時間が長くなるデメリットがある。

②充電曲線解析法

充電曲線解析法は、充電時の電池の電圧挙動(充電曲線)を解析して、電池の劣化状態を推定する充電曲線解析(CCA)技術を用いた手法である。

この手法は、電池の充電曲線が充電中の正極電位と負極電位の差分であることを利用して、開回路電位(OCV)カーブを基準として充電曲線にフィッティングを行うことで、正極・負極材料のそれぞれの劣化、及び正極と負極の組合せ状態を含む内部状態を推定する。通常 EV で用いる充電器による定電流充電(普通充電と急速充電ともに適用可能)では、その場で計測できるメリットがある。

③BMS データ利用

BMS は、LIB ユニット及び LIB セルの情報を車両側にある上位コントローラに CAN(Controller Area Network)で送信し、その指示を受信し、LIB ユニット及び LIB セルを制御する。BMS は、全電池セルの状態の計測機能(電圧・電流・温度)、電池セルの状態推定機能である SOC(State of Charge: 電池残存容量)や SOH(State of Health: 電池劣化度)、セル電圧の均等化機能、診断機能、診断ツールとの通信機能を有する。

BMS を活用する場合、自動車メーカーからの情報開示が必須である。現在、日本国内の自動車メーカーは、この情報を開示していないため、車両から取り外された LIB ユニット単体に紐づけられていない。また、事故や故障起因の廃車両においてデータ収集が困難なことも想定される。

④交流インピーダンス法

交流インピーダンス法は、試料電池へ微小な交流電流を流して、基準交流波と比較することで、試料電池のインピーダンスを複素インピーダンス(インピーダンスの大きさと位相)として求める方法である。

交流インピーダンス法にかかる測定時間は数分/回程度である。但し、充放電法で測定した劣化度と交流インピーダンス法による測定結果を対応させる必要がある。そのため、測定精度を上げるためには、電池種類別に多量の対応データを収集する必要がある。今後、多車種から多様な使用済み EV が発生した際、電池種類別に都度データベースを

作成する事は現実的でない。また、今回 LEAF 30kWh、40kWh の LIB を対象としているが、使用済み LIB の発生数が少ないため、交流インピーダンス法で精度の高い測定を実施する事が難しい。

⑤ゴイク電池法

ゴイク電池法は電池に電流を流した際の電池電圧の変動を、電池の電極反応と関連づける理論式(電池方程式と称している)に当てはめ、SOH 値を算出する。二次電池の容量は、電極面の反応の大きさで決まる。瞬時に測定できる電圧変動値を用いて電池容量を算出できるため、電池容量が直ちに判明するメリットがある。また、電池容量算出時に比較基準とする電池特性曲線等を必要としないことから汎用性が高い。

ゴイク電池法は現在開発中の二次電池容量測定技術であり、LIB モジュール単位での技術検証が行われている。現時点では LIB 内の電路等を含めた LIB モジュール回路を介した電池容量測定時の測定精度を評価している。今後は、より容量の大きい LIB モジュールでの検証試験が計画されている。

表 3.2.1-1 劣化診断技術の比較

方式	原理	利点	欠点
①充放電法	満充電⇒放電停止電圧まで放電し、放電時電力量と電池の定格容量とを比較する。	従前からの一般的な方法である。	・充電電力コスト ・測定時間が長い(数時間～)
②充電曲線解析法	充電時の電圧変動データからSOHを推定する。	充放電法と比較して、放電操作が不要となる。	・充電電力コスト ・測定時間が長い(数時間～)
③バッテリーマネジメントシステム(BMS)データ利用	EV車両のBMSで収集された電池の使用履歴(充放電時の電圧変動、使用時間等)から、SOHを診断する。	データ収集により診断できる。	・車両分解前にデータを取得する必要がある。 ・BMSデータ非公開の車両には適用できない。
④交流インピーダンス法	電池の交流インピーダンスからSOHを推定する。	測定時間が数分で、短時間で診断できる。	劣化データとの比較でSOHを判定するため、不特定多数のLIBの診断には不向き。
⑤ゴイク電池法	電池に電流を流した際の電池電圧の変動を、電池の電極反応と関連づける理論式(電池方程式と称している)に当てはめ、SOH値を算出する。	・極めて短時間で診断できる。 ・SOHの絶対値を測定可能。誤差は1%(電池容量SOC20～80%時)	・被測定LIBの定格電圧等のデータを入力する必要がある。 ・実証段階である。

3) 劣化診断技術検討のまとめ

自動車リサイクル事業者が LIB の健全性を判断する方法として、BMS データの利用が最も合理的である。しかしながら、現在、日本国内では BMS データは開示されていない。

中国では、BMS データの情報開示が法律で定められており、BMS データを活用した劣化診断が進んでいる。日本においても、今後の LIB 搭載車発生増に対応するためには、

自動車メーカーからの情報開示が必要であると考えられる。車載の状態での劣化度を消費者に情報提示する国際規格の制定に向けた議論も進んでいるため、将来的には BMS データを活用、車載状態で実車査定、中古車として転売されることが望ましい。車載 LIB をそのままの状態を活用し、どうしても車載 LIB として活用出来ない LIB についてのみ、ESS（電力貯蔵システム）用途等、他用途でのリユースを検討することで、環境負荷を最小限に抑えたリユースシステムが構築できると考える。但し、現状では自動車メーカーによる BMS データの開示が確実ではないこと、加えて事故や故障起因の廃車両では、廃車時点のデータ収集が困難なことも予想される。

(2) 本年度の成果

1) 劣化診断技術の比較検討

令和 2 年度から本年度にかけて表 3.2.1-1 で示した劣化診断技術の比較検討を行ってきたが、これら劣化診断技術は測定時間が長すぎる、使用方法について情報が不足している、技術開発が完了していない等で現状では具体的な適用に至る段階ではないと判断した。一方で、モビリティ全般に関して、ブロックチェーン技術とその利活用のための標準化・規格化をグローバルに推進する国際コンソーシアムである MOBI (Mobility Open Blockchain Initiative) が EV の走行距離、使用年数、電池の温度変化等のデータを用いた電池価格の評価基準を設け、また、MOBI には多くの自動車会社や関連企業が参加していることから、今後は MOBI の評価基準が世界標準になることが予想される。

今後、MOBI のような評価基準を注視しつつ、自動車会社の保有する EV の各種情報を得られるような仕組みを模索していく。

2) リユース LIB の蓄電池化及び電力供給用途としての可能性の検討

本年度はリユース LIB の蓄電池化を検討した。劣化診断の結果、リユース可能であると判断された車載 LIB の蓄電池としての利用を検討した。なお、本検討は LEAF の 30kWh の LIB を対象として記載する。

(a) 車載 LIB の蓄電池化の形態と実現性の考察

車載 LIB を蓄電池化する際には、その形態を考慮する必要がある。形態としては次の 3 種類があると考えられる。

- ① LIB ユニット形態での蓄電池化
- ② LIB モジュール形態での蓄電池化
- ③ LIB セル形態での蓄電池化

以下、蓄電池化の各形態の実現性について考察する。考察にあたっては、LIB ユニット内の LIB セルは劣化のバラツキが少なく、所定容量の残電力を有していることが劣化診断により分かっていることを前提とする。

なお、本考察では LIB ユニット等を取り扱う作業を想定するが、LIB ユニット等を取り扱う作業には、労働安全衛生法第 59 条及び労働安全衛生規則第 36 条に定められた特別教育の受講が義務付けられていることに留意する。

① LIB ユニット形態での蓄電池化

本形態は、車載 LIB ユニットに手を加えず、そのまま蓄電池化する方法である。

本形態で LIB ユニットをそのまま蓄電池として利用するには、車載 LIB ユニットのメインコネクタに直流電源用ケーブルを接続し、LIB ユニット内部の遮断機を開通させる

ための制御信号を入力し、さらにサービスプラグを接続することが必要である。簡易的な利用形態と考えられる一方、出力電圧が 360V の一定の高電圧で出力され用途が限定されること、LIB ユニットのままの利用形態であるため 300kg 程度の重量物となり可搬性に劣ること、LIB ユニット内部の遮断機を開通させるためのノウハウが必要になること、さらに充電・放電の制御方法を確立させる必要があること等で課題が大きくなる。

これらの課題を解決しつつ LIB ユニットを蓄電池として利用する方法の一つとして、LIB ユニットを車両に搭載し、車両から電力を供給する方法がある。日産 LEAF は V2H (Vehicle to Home) に対応 (図 3.2.1-1) しており、所定の設備を介することで車両を蓄電池として利用することが可能となっている。また、自動車メーカー各社の EV、PHEV、HV では、車内から AC 電源出力が可能な車種もあり、LIB ユニットを蓄電池として利用する際は車両に搭載した形で利用する方法が簡易かつ有効であると考えられる。



図 3.2.1-1 V2H のイメージ

② LIB モジュール形態での蓄電池化

本形態は、車載 LIB ユニットから LIB モジュールを取り出し、当該モジュールを蓄電池化する方法である。30kWh の LEAF の LIB モジュール単体の電圧は 15V であり、一台の LIB ユニットの電圧は 24 モジュールが直列接続されて 360V となっている。

本形態で LIB モジュールを蓄電池として利用するには、車載 LIB ユニットから LIB モジュールを取り出す作業が必要である。LIB モジュール単体の電圧は 15V であるため、蓄電池として再構成するには使いやすい電圧と思われる。一方で、LIB ユニットから LIB モジュールを取り出す際には放電を行わずに取り出す必要がある。このため、高電圧、

高容量の LIB ユニットの内部から LIB モジュールを取り出すという作業が必要となり、この作業には直流電源による感電の可能性といった危険が伴う。

LIB モジュールを蓄電池として利用する場合は、各モジュールの電極を直列若しくは並列に接続し、必要に応じた電流・電圧を利用する形態となる。LIB モジュールは LIB ユニットに比べて軽量で小型であるため可搬性が向上するが、モジュールの固定方法や充電・放電の制御方法を確立させて利用する必要がある。LIB の過充電が大きな危険を伴うことは既知となっているが、過放電も LIB セル内部でのガス発生によりセル形状に変化を生じさせ、LIB セルの破損等につながるという危険を伴うことになる。

また、異なる種類の LIB モジュールを連結して利用する際には、LIB セルや LIB モジュールの仕様・特性の違いから制御方法はより複雑となることが想定される。

③ LIB セル形態での蓄電池化

本形態は、LIB モジュールから LIB セルを取り出し、当該セルを蓄電池化する方法である。30kWh の LEAF の LIB セル単体の電圧は 3.75V であり、一台の LIB モジュールの電圧は並列接続された 2 セルのセットが直列接続されて 15V となっている。

LEAF の LIB セルはラミネートタイプであるため、取り扱いの際には LIB セルの固定方法に留意が必要である。また、LIB モジュールの取り扱いと同様、充電・放電の制御方法の確立が必要となる。異なる種類の LIB セルを連結して利用する場合も同様である。

(b) 車載 LIB 蓄電池の電力供給用途としての可能性の検討

(a) では車載 LIB の蓄電池化の形態と実現性を考察したが、電力供給用途として利用する際には充電・放電の制御方法の確立に加えてメンテナンスも考慮する必要がある。車載 LIB のリユース利用に際してはある程度の使用年数を経た車両からの LIB をリユース利用することが想定される。このリユース利用として選定された車載 LIB では経年劣化の進行が想定されるが、同時に LIB 周辺の制御機器、センシング機器でも経年劣化の進行が想定される。そのため、リユースした車載 LIB を蓄電池化し、電力供給用途として利用する際には、LIB の経年劣化の状況に配慮する必要があると同時に、制御機器やセンシング機器の状況にも配慮する必要がある。経年劣化が進行した上記機器類を利用する際には、事前にこれら機器類の使用期限を確認しておく必要がある。また、これら機器類の動作状況の検知手段や故障等へ対応するメンテナンスも必要となる。

以上から、車載 LIB 蓄電池を、例えば太陽光発電と組み合わせて電力供給用途として利用する際には、電力需要家の必要電力量に応じた電氣的構成への対応に加え、充電・放電の制御方法といったソフトウェアに関連する部分と制御機器やセンシング機器のメンテナンスといったハードウェアに関連する部分のシステム構成の最適化への対応が必要であると想定される。

また、上記のようなシステム構成の最適化を経た車載 LIB 蓄電池がコスト的に優れているかどうか、という点にも配慮が必要である。既に普及している定置型蓄電池に比べて競争力を持つ蓄電池として構成できるのかどうか、といった視点で車載 LIB のリユース方法を検討していく必要がある。

（３）今後の課題

車載 LIB の劣化診断技術の検討及びリユースによる蓄電池化に係る技術検討を行った。劣化診断技術の検討では、具体的な適用に至る技術が現段階では得られない結果となったが、今後、自動車会社等との情報交換を通じて車載 LIB に対する適切な劣化診断技術の適用方法を探っていく。また、リユースによる蓄電池化に係る技術検討では、供給者側での視点で課題等の検討を行ったが、車載 LIB のリユースによる蓄電池化の必要性を踏まえた需要者側の視点でも課題等の整理を行っていく。

3. 2. 2 LIBユニットの放電

本実証事業における LIB のリサイクルでは、LIB の活物質化の工程を経る。この活物質は、LIB の熱分解、破碎・選別の工程を経て、篩目から落ちたものを採取することで取り出す。熱分解の工程では、LIB をモジュール単位で処理するため、LIB ユニットからモジュールまでの解体が必要である。この解体を安全かつ効率的に実施し、また、熱分解での熱暴走を回避するには LIB ユニットの状態での適度な放電が必要である。以上から、LIB ユニットの放電についての実証を行った。

(1) 昨年度の成果と課題

昨年度は、LEAF 及び FIT3 の LIB ユニットの構造的・電気的な相違に着目し、それぞれの特徴に合わせた放電方法を検討した。また、放電方法の検討を踏まえ、各 LIB ユニットの放電に必要な能力を検証し、放電装置を選定した。

選定した放電装置は、東陽テクニカ製の 15kW 電力回生式・直流電子負荷システムである ELR10500-180-SYS (0-500V/0-180A/15kW) とした。本放電装置は直流電子負荷を基本機能として、最大 15kW までの掃引電力を交流 3 相 200V の回生電力として出力する機能を持つ。

(2) 本年度の成果

1) 放電方法の再検討

本事業では、図 3.2.2-1 に示す LEAF-LIB 2 種類、FIT3-LIB 2 種類の計 4 種類を対象とした。本項では、LEAF-LIB について放電方法の見直しを行い、より簡便で安全な放電方法の検討を行った。

LEAF-LIB			FIT3-LIB		
					
車両型式	AZE0	ZE1	車両型式	GP5	
セル製造	AESC		セル製造	Blue energy	Panasonic
容量(kWh)	30	40	容量(kWh)	0.864	0.941
LIB構成	48モジュール (192セル)	24モジュール (192セル)	LIB構成	4モジュール(48セル)	
定格電圧(V)	360	350	定格電圧(V)	173	
バック 外寸 (mm)	幅	1188	バック 外寸 (mm)	幅	703
	長さ	1547		長さ	545
	高さ	264		高さ	216.5
重量(kg)	293	308	重量(kg)	38	

図 3.2.2-1 放電検討を行った LIB の種類

(a) 放電の定義

LEAF-LIB のセルはラミネートタイプであり、外装は柔らかい素材で構成されている。このため、過放電によりセル形状に変化が生じることが確認されている。また、FIT3-LIB のセルは、角型セルであり外装は金属ケースとなっているが、LEAF-LIB のセルと同様、過放電によりセル形状に変化が生じる可能性がある。

セル形状に変化が生じた場合、セル内部でのガス発生が疑われる。この場合、放電や解体等の作業中の安全性確保に対しマイナスの影響が予測されることから、完全放電せずにセル形状が変化しない電圧までの放電を行う。

このセル形状が変化しない電圧を管理電圧とし、本項では LIB ユニットの初期開放電圧から管理電圧まで降圧することを放電と定義する。表 3. 2. 2-1～3 に LEAF-LIB(30kWh)、LEAF-LIB(40kWh)、及び FIT3-LIB の定格電圧をそれぞれ示す。

表 3. 2. 2-1 LEAF-LIB(30kWh) の定格電圧

項目	ユニット電圧 (24モジュール)	ユニットA電圧 (12モジュール)	ユニットB～C ユニットD～E 電圧 (各6モジュール)	モジュール 電圧 (4セル)	セル電圧
	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
定格電圧	360	180	90	15	3.75

表 3. 2. 2-2 LEAF-LIB(40kWh) の定格電圧

項目	ユニット電圧 (24モジュール)	ユニットA電圧 (12モジュール)	ユニットB～C ユニットD～E 電圧 (各6モジュール)	モジュール 電圧 (4セル)	セル電圧
	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
定格電圧	350	175.2	87.6	14.6	3.65

表 3. 2. 2-3 FIT3-LIB の定格電圧

項目	ユニット電圧 (4モジュール)	モジュール電圧 (12セル)	セル電圧
	[V]	[V]	[V]
定格電圧	173	43.2	3.6

(b) LEAF-LIB の放電方法の課題と対策

昨年度の検討では、過放電によるセル形状の変化を考慮し、LEAF-LIB 内のユニット A とユニット B～E の 2 つの範囲に分けて放電する手法を検討した。この方法では、放電を行う前に上蓋の取り外し、ユニット A の取り出しなど事前準備が必要であった。また、放電前の LEAF-LIB はユニット全体で 360V 前後、ユニット A 単体の電圧が 180V 前後であり、ユニットの電池端子部に放電装置を接続する作業が必要であるという手間のかかる課題があった。この課題への対策として、LIB ユニットに外部に設けられているメインコネクタから管理電圧を意識したユニット A～E の一括での放電を行うこととした。これにより、より簡便で安全な放電方法となり、上記の課題を解決することができた。

図 3.2.2-2～3 に LEAF-LIB(30kWh)、及び LEAF-LIB(40kWh) の放電イメージをそれぞれ示す。また、図 3.2.2-4 にメインコネクタ及びユニット内部を示す。

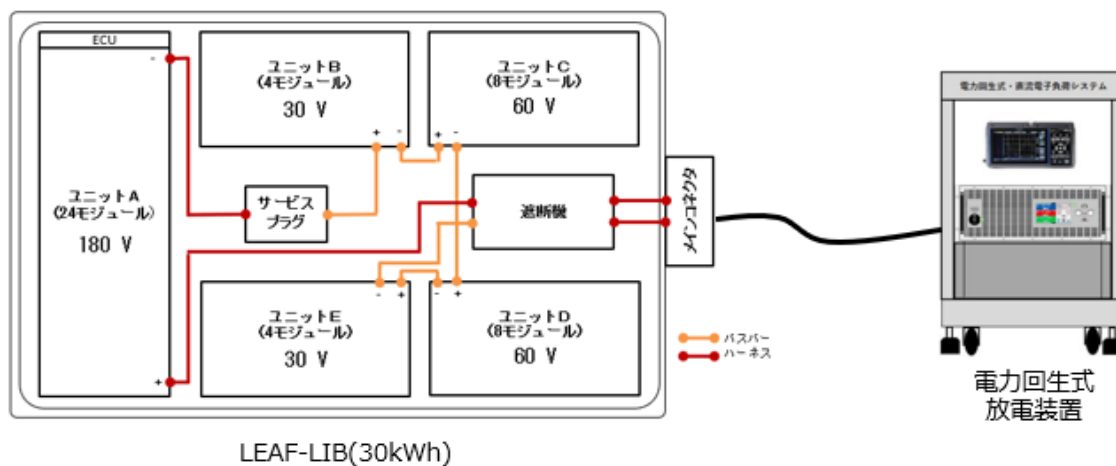


図 3.2.2-2 LEAF-LIB(30kWh)放電イメージ

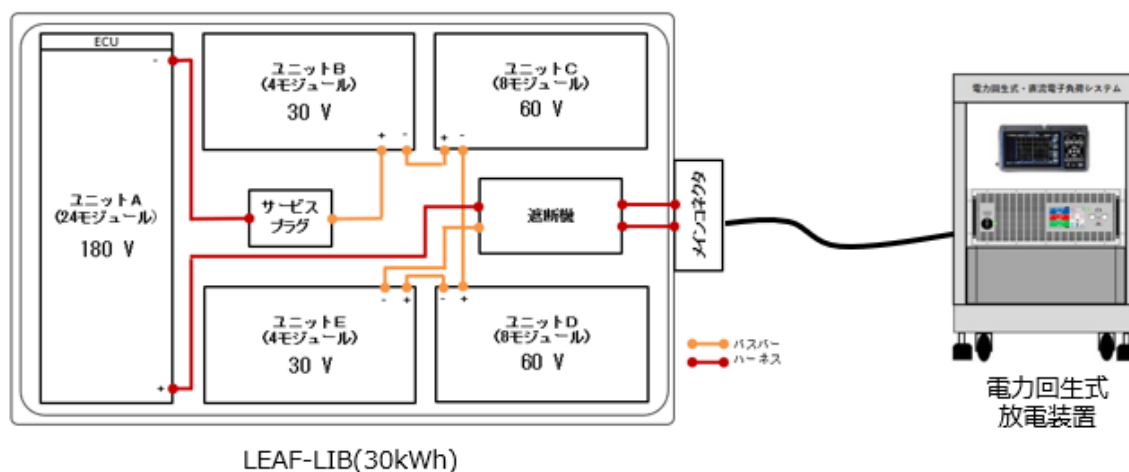


図 3.2.2-3 LEAF-LIB(40kWh)放電イメージ

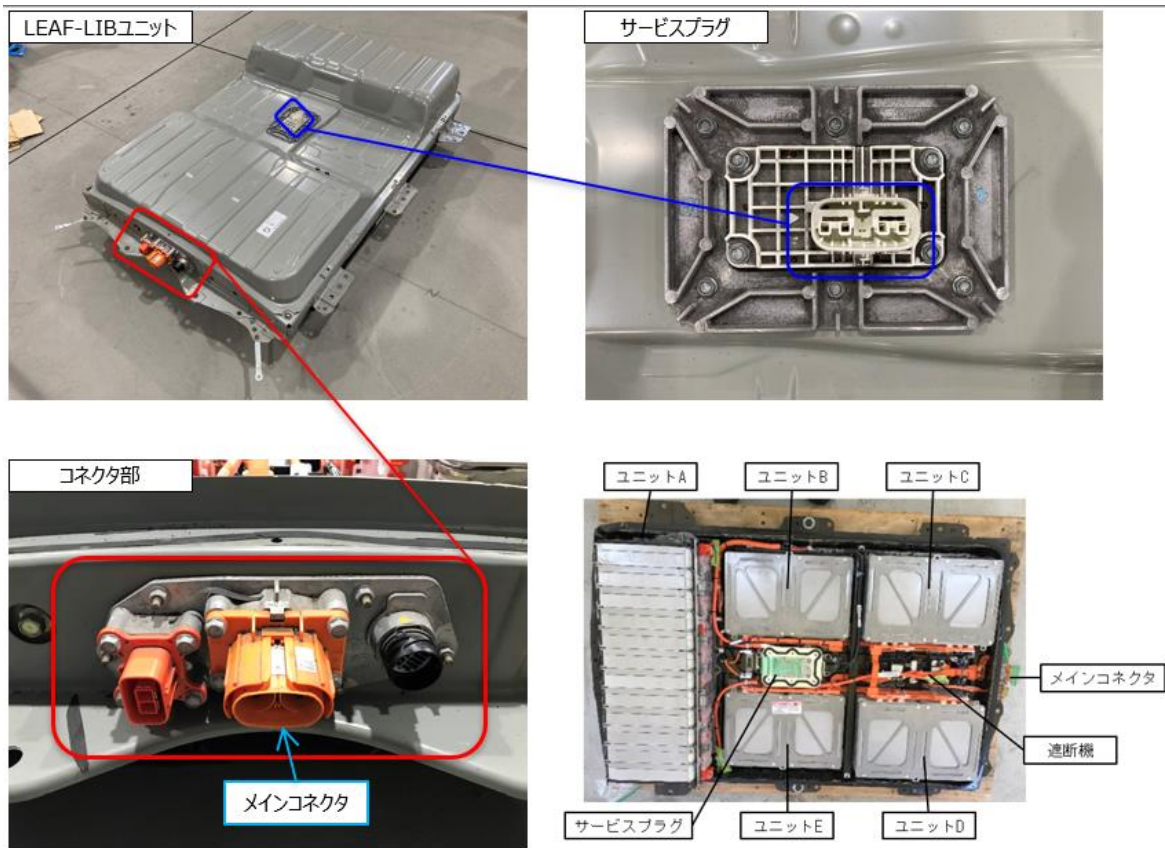


図 3.2.2-4 メインコネクタ及びユニット内部

2) 電力回生式放電装置による商用電力量の削減効果の実証

前述 1) の放電方法の再検討を踏まえて、LEAF-LIB ユニットを用いて電力回生式放電装置による商用電力量の削減効果の実証を行った。

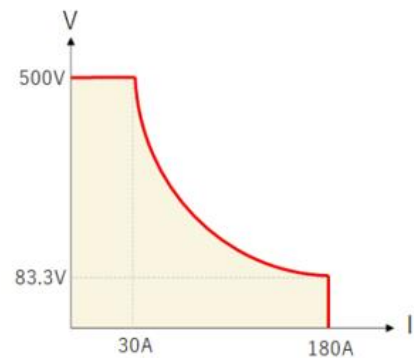
(a) 放電装置の導入

昨年度、15kW の電力回生式放電装置が必要であることを検討し、当該放電装置は東陽テクニカ製の 15kW 電力回生式・直流電子負荷システムを選定した。選定した放電装置を図 3.2.2-5 に示す。



電力回生式放電装置 外観

項目	仕様
【電子負荷】	
電圧	0-500V ※掃引範囲は下記参照
電流	0-180A ※掃引範囲は下記参照
電力	15kW ※掃引範囲は下記参照
電圧制御精度	最大電圧の0.1%未満(CVモード時)
電流制御精度	最大電流の0.2%未満(CCモード時)
立ち上がり時間	50 μ s以下(CCモード時)
AC入力	三相 AC188~228V, 45-66Hz



放電装置の仕様および掃引範囲

図 3.2.2-5 放電装置の外観及び仕様

(b) 回生電力

放電装置内の電子負荷には、2種類がある。掃引電力を熱として放出する熱消費式と、回生電力として出力する電力回生式の2種類である。本事業では放電に伴う回生電力の活用を検討するため、図 3.2.2-5 で示した電力回生式の放電装置を導入した。

放電装置からの回生電力を商用電源系統へ出力するためには、電力会社との契約が必要となり諸条件を満たす必要がある。今回、電力会社との協議を行い、図 3.2.2-6 に示す電力系統で放電装置を接続し、同一変圧器系統内で回生電力を消費するように設備を構成した。

放電装置は内蔵の放電電力計で放電電力の計測と記録が可能である。また、放電装置に電力を供給するキュービクルにおいても、内部に設置された回生電力計で回生電力の計測と記録が可能である。

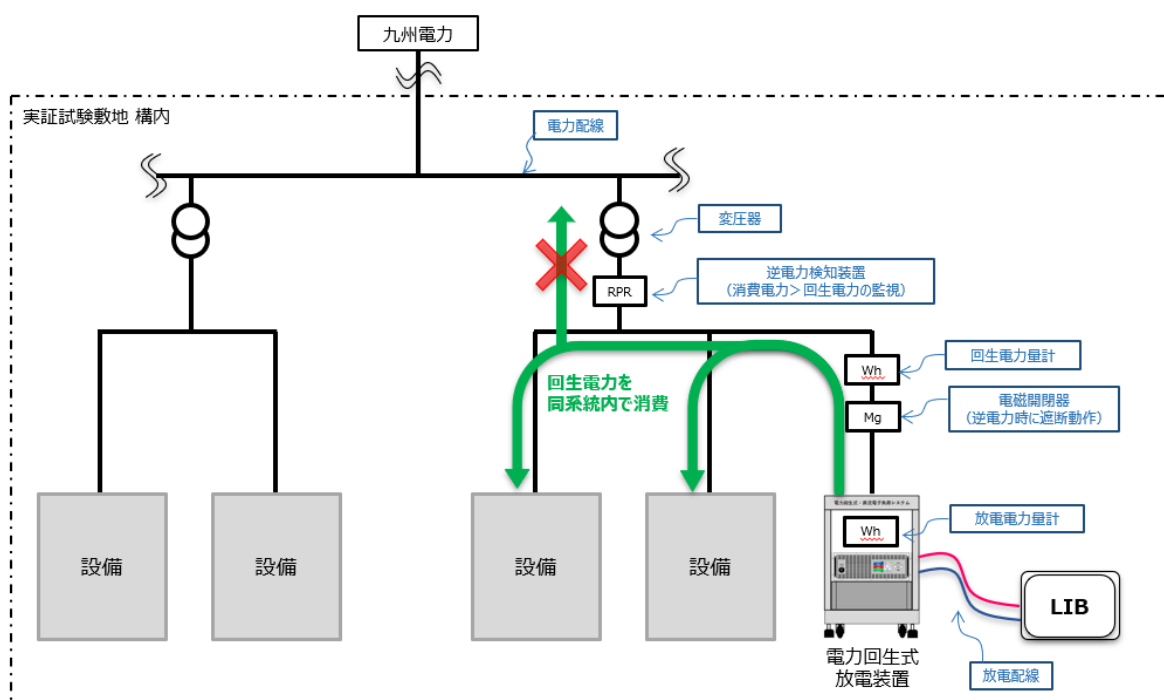


図 3.2.2-6 電力回生機放電装置の電力系統図

(c) 商用電力量の削減効果の実証

前述 1) で示した方法で電力回生式放電装置と LEAF-LIB を接続して、放電装置に LIB 電池電圧が印加されることを確認した。また、電力回生式放電装置からの再生電力の発生を各電力量計で確認することで、商用電源系統からの電力量が再生電力量によって相殺されていることが確認でき、商用電力量の削減効果を実証できた。

図 3.2.2-7 に LEAF-LIB と放電装置の接続の外観を示す。



放電装置操作画面（電池電圧表示）

電力回生式放電装置と LEAF-LIB

図 3.2.2-7 放電装置と LIB との接続の外観

(d) LEAF-LIB の放電

表 3.2.2-4 に LEAF-LIB の回生効率を示す。回生効率は平均 90.5% という結果が得られた。

表 3.2.2-4 LEAF-LIB 放電データ

No.	①放電電力量 (kWh)	②回生電力量 (kWh)	回生効率 (②÷①×100)
1	16.62	14.5	87.2%
2	10.47	9.5	90.7%
3	12.03	11.0	91.4%
4	6.57	6.0	91.3%
5	8.93	8.2	91.9%
平均	10.92	9.8	90.5%

以上、本年度は、LEAF-LIB について、事前準備を不要とした一括での放電による安全かつ効率的な放電方法に加え、管理電圧までの放電により後段の熱分解での熱暴走を回避する放電方法を実証した。併せて回生式放電装置の導入により商用電力量の削減効果も確認できた。

(3) 今後の課題

LIB ユニットの放電における今後の課題は以下が挙げられる。

➤ FIT3-LIB の放電方法の再検討

FIT3-LIB の放電については、放電を行うにあたり樹脂ケースを取り外す等の事前準備が必要であることが判明している。より簡便で安全な放電方法の再検討が必要である。

➤ 商用電力量の削減効果の実証

来年度は FIT3-LIB について商用電力量の削減効果の実証を行う。

3. 2. 3 LIB ユニット解体自動化

本実証事業における LIB のリサイクルでは、LIB ユニットを後工程の熱分解、破碎、選別の工程に適した LIB モジュールの状態まで解体する必要がある。

LIB ユニットの解体作業は、人手を介する作業となるため、廃車発生量が増加した場合に人手の確保が困難になることが予想される。省力化及び感電リスクの低減を目的として、産業用ロボットを活用した LIB ユニット解体ラインの検討を行った。

(1) 昨年度の成果と課題

昨年度は、LEAF-LIB 及び FIT3-LIB の解体調査を行い、それぞれの構造的・電氣的に異なる特徴に合わせて解体手順の検討を行った。また、省力化効果が高いねじの取り外し作業を自動化の対象作業として選定し、ねじ取り外し自動化工程を含む LIB ユニット解体ラインの検討を行った。

(2) 本年度の成果

1) LIB ユニット解体の検討

LEAF-LIB については、前述 3. 2. 2 に示した放電方法を用いて、解体前に放電を行う際の解体手順の検討及びねじ取り外し自動化の対象範囲の検討を行った。FIT3-LIB については、昨年度に解体調査を行った Blue Energy 製の詳細調査を行い、新たに Panasonic 製についても解体調査を行い、自動化範囲の検討及び LIB 解体ユニットの開発を行った。

(a) 解体調査

LIB ユニットの解体作業では、ねじ取り外し作業、コネクタ離線、配線クリップ取り外し、部品の回収に加えて、解体作業を行う上で各ユニットを元の位置から移載作業を行う必要がある。各解体作業項目と工数及び解体順序を検討するために解体調査を行った。

図 3. 2. 3-1 に LEAF-LIB の解体調査を、図 3. 2. 3-2 に LEAF-LIB の部品を、図 3. 2. 3-3 に FIT3-LIB の解体調査をそれぞれ示す

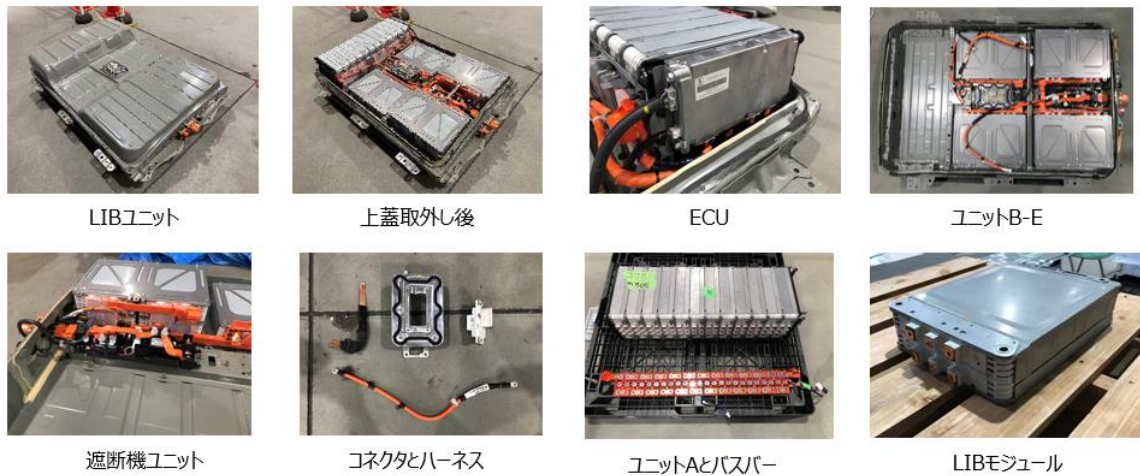


図 3. 2. 3-1 LEAF-LIB 解体調査

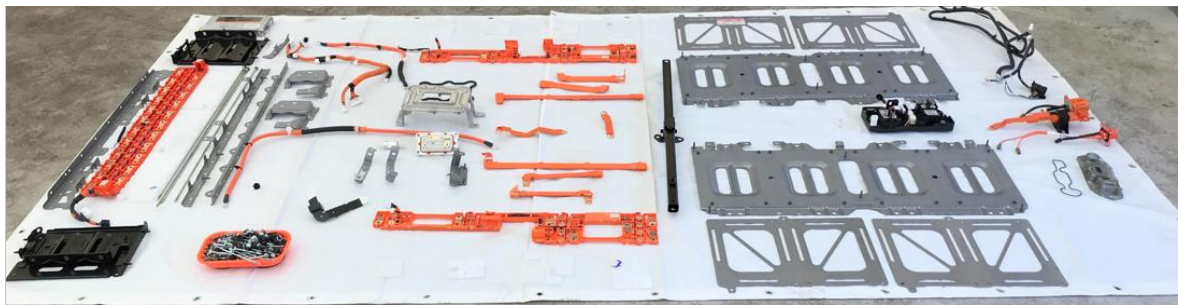


図 3. 2. 3-2 LEAF-LIB 部品

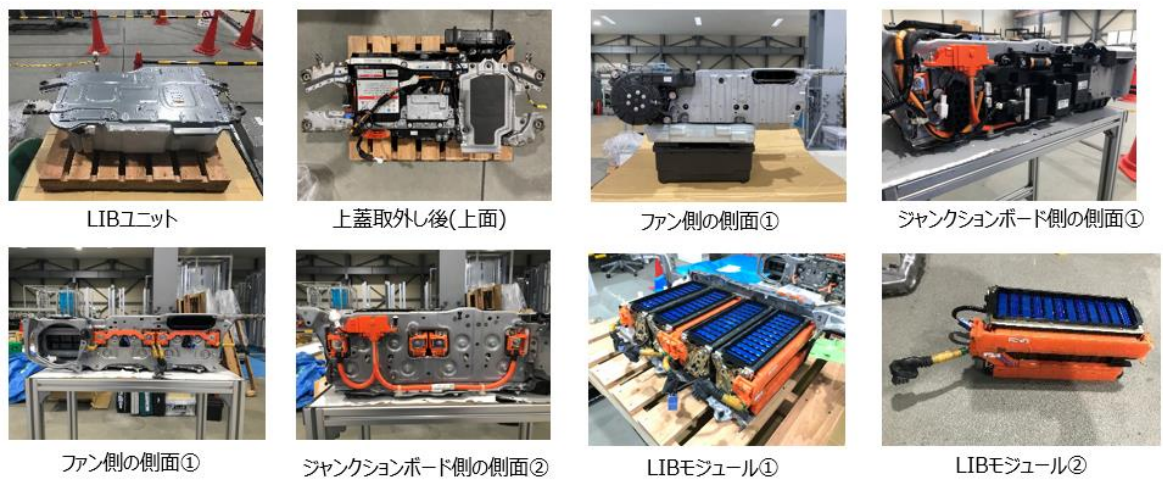


図 3. 2. 3-3 FIT3-LIB 解体調査

(b) 自動化範囲の検討

LIBユニット解体ラインでは、ロボットによるねじ取り外しを行う自動解体と作業者が手解体を行うエリアは異なるため、各工程間にLIBユニットをコンベア上で搬送する必要がある。このため、自動解体と手解体の工程間搬送がより少なく、より多くのねじ本数をまとめて自動解体することで作業効率を向上させる。これに加えて(a)解体調査の内容を考慮して解体自動化の範囲を検討した。

表 3. 2. 3-1～4 に LEAF-LIB(30kWh)、LEAF-LIB(40kWh)、Blue Energy 製 FIT3-LIB 及び Panasonic 製 FIT3-LIB の解体手順、工数及び自動化率をそれぞれ示す。

手解体作業例を図 3. 2. 3-4 に示すとともに、自動解体例を図 3. 2. 3-5 に示す

表 3. 2. 3-1 LEAF-LIB(30kWh)解体の手順、工数及び自動化率

No.	回収部品	手解体						自動解体
		部品回収 個数	移載 個数	上蓋ゴム 切断回数	コネクタ 離線箇所数	配線クリップ [°] 外し数	①ねじ取外し 本数	②ねじ取外し 本数
1	上蓋	1		8				20
2	バスバー	1					2	
3	ハーネス	1				8	3	
4	ECU	1			4		4	
5	ハーネス	1			4	2		
6	コネクタ台座	1			1		5	
7	バスバー	1			1		2	
8	コネクタ固定金具	1						
9	通信ハーネス	1			5	14		
10	配線ブラケット	2			5			4
11	補強バー	1					2	2
12	ユニットA		1				8	14
13	ユニットB-C		1				3	5
14	ユニットD-E		1				3	5
15	バスバー	1					2	
16	ユニットB-C 端子カバー	3						
17	ユニットB-C バスバー	3					36	
18	ユニットB-C 固定金具	2					16	
19	ユニットB-C LIBモジュール	6						
20	ユニットB-C 底板	2						
21	ユニットD-E 端子カバー	3						
22	ユニットD-E バスバー	3					36	
23	ユニットD-E 固定金具	2					16	
24	ユニットD-E LIBモジュール	6						
25	ユニットD-E 底板	2						
26	メインコネクタ	1					6	
27	バスバー-ユニット	1					4	
28	コネクタ	1			2		4	
29	遮断機ユニット	1					5	
30	コネクタベース	1					6	
31	ユニットA 固定金具	4						28
32	ユニット 樹脂カバー	3						
33	ユニットA バスバー	1						72
34	ユニットA 固定金具	1						16
35	ユニット LIBモジュール	12						
36	ECUブラケット	1					2	
37	ユニットA 側面固定金具	2					4	
38	筐体	1					4	
合計		74	3	8	22	24	169	166

ねじ取外し自動化率
②÷(①+②)×100

49.6%

表 3. 2. 3-2 LEAF-LIB(40kWh)解体の手順、工数及び自動化率

No.	回収部品	手解体						自動解体
		部品回収 個数	移載 個数	上蓋ゴム 切断回数	コネクタ 離線箇所数	配線クリップ 外し数	①ねじ取外し 本数	②ねじ取外し 本数
1	上蓋	1		8				20
2	ユニットD-E間補強金具	1					2	
3	バスバー	1					2	
4	ハーネス	1				8	3	
5	ECU	1			4		4	
6	ハーネス	1			4	2		
7	コネクタ台座	1			1		5	
8	バスバー	1			1		2	
9	コネクタ固定金具	1						
10	通信ハーネス	1			5	14		
11	配線ブラケット	2			5			4
12	補強バー	1					2	2
13	ユニットA		1				8	14
14	ユニットB-C		1				3	5
15	ユニットD-E		1				3	5
16	バスバー	1					2	
17	ユニットB-C 端子カバー	3						
18	ユニットB-C バスバー	3					36	
19	ユニットB-C 固定金具	2					16	
20	ユニットB-C LIBモジュール	6						
21	ユニットB-C 底板	2						
22	ユニットD-E 端子カバー	3						
23	ユニットD-E バスバー	3					36	
24	ユニットD-E 固定金具	2					16	
25	ユニットD-E LIBモジュール	6						
26	ユニットD-E 底板	2						
27	メインコネクタ	1					6	
28	バスバー-ユニット	1					4	
29	コネクタ	1			2		4	
30	遮断機ユニット	1					5	
31	コネクタベース	1					6	
32	ユニットA 固定金具	4						28
33	ユニット 樹脂カバー	3						
34	ユニットA バスバー	1						72
35	ユニットA 固定金具	1						16
36	ユニット LIBモジュール	12						
37	ECUブラケット	1					2	
38	ユニットA 側面固定金具	2					4	
39	筐体	1					4	
合計		75	3	8	22	24	171	166

ねじ取外し自動化率
 $② \div (① + ②) \times 100$

49.3%

表 3.2.3-3 Blue Energy 製 FIT3-LIB 解体の手順、工数及び自動化率

No.	回収部品	手解体					自動解体
		部品回収 個数	樹脂ピン 外し数	コネクタ 離線箇所数	配線クリップ 外し数	①ねじ取外し 本数	②ねじ取外し 本数
1	上蓋	1				6	
2	外装樹脂ケース	1	4				
3	インバータ上蓋	1					5
4	ECU	1					2
5	ECU取付金具	2					2
6	ファン	1					3
7	側面カバー	1					5
8	中継箱	2					2
9	ジャンクションボード	1				2	8
10	ハーネス	1		20	20		1
11	サービスコネクタハーネス	1			2	2	
12	インバータ	1					14
13	発泡スチロール	1					
14	インバータバスバー	1					
15	LIBカバー	1	4				2
16	メインフレーム	2					16
17	バスバー	2	1		1		4
18	フレーム	2				4	4
19	底板	1				8	
20	LIBモジュール	4					
合計		28	9	20	23	22	68

ねじ取外し自動化率
②÷(①+②)×100

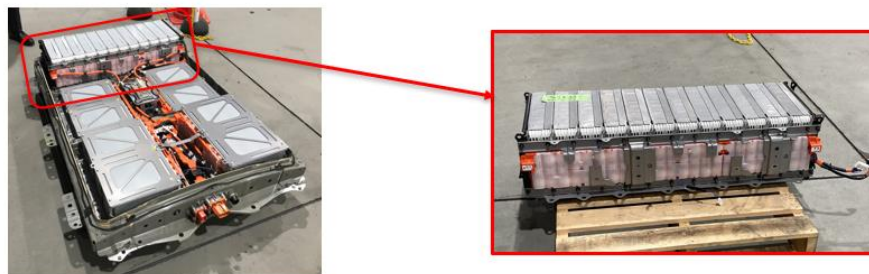
75.6%

表 3. 2. 3-4 Panasonic 製 FIT3-LIB 解体の手順、工数及び自動化率

No.	回収部品	手解体					自動解体
		部品回収 個数	樹脂ピン 外し数	コネクタ 離線箇所数	配線クリップ 外し数	①ねじ取外し 本数	②ねじ取外し 本数
1	上蓋	1				6	
2	外装樹脂ケース	1	4				
3	インバータ上蓋	1					5
4	ECU	1					2
5	ECU取付金具	2					2
6	ファン	1					3
7	側面カバー	1					5
8	中継箱	2				4	
9	ジャンクションボード	1				2	8
10	ハーネス	1		20	20		1
11	サービスコネクタハーネス	1			3	2	2
12	インバータ	1					14
13	発泡スチロール	1					
14	インバータバスバー	1					
15	LIBカバー	1					
16	メインフレーム	2					16
17	バスバー	2	1		1		4
18	フレーム	2				4	4
19	底板	1					
20	LIBモジュール	4			5		
合計		28	5	20	29	18	66

ねじ取外し自動化率
②÷(①+②)×100

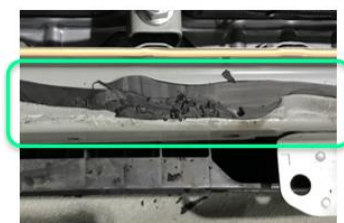
78.6%



(a) 移載



(b) コネクタ・クリップ



(c) ゴム切断

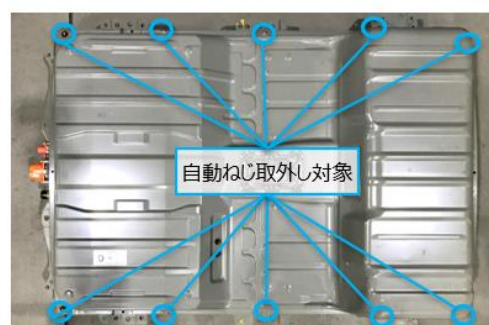


(c) ねじ取外し

図 3. 2. 3-4 手解体作業例



(a) FIT-LIB 側面



(b) LEAF-LIB 上蓋

図 3. 2. 3-5 自動解体例

2) LIB ユニット解体ラインの設計

前述 1) LIB ユニット解体の検討を踏まえて、装置設計にあたり、以下の点を考慮して装置開発を行った。

- ・ 劣化診断及び放電済みの FIT3 及び LEAF の LIB ユニートを同一の解体ラインで解体作業が可能とすること
- ・ LIB ユニットは重量物であるため運搬には、安全確保及び作業負担を軽減するために揚重装置を用いること
- ・ コンベア高さ、幅を適切に設定し、必要に応じて回転機能を設けることで解体作業時の作業姿勢に無理がなく、作業負担を軽減することが可能であること
- ・ ロボットと人の作業エリアを分離し、ロボットハンドに取り付けるツールの交換作業などでロボット安全柵へ都度、人が入る必要がなく安全に作業が可能であること
- ・ 事前にロボットティーチングした内容とライン投入時に設定する LIB 種別情報及びロボットビジョンを組み合わせて、人がねじ部品位置を指示する必要なく産業用ロボットによる自動解体作業が可能であること
- ・ 廃 LIB 発生量及び劣化診断によるリサイクル判断により FIT-LIB が 4.3 個/日、LEAF-LIB が 0.8 個/日の解体処理能力を有すること

(a) LIB ユニット解体ライン

同一ライン上で FIT3-LIB、LEAF-LIB の解体作業を行い、手解体とロボットによるねじ取り外しの自動解体を交互に作業を行うことを考慮して、LIB ユニット解体ラインを検討した。

LIB ユニット解体ラインを図 3.2.3-6 に示すとともにユニット解体ライン周辺レイアウトを図 3.2.3-7 LIB に示す。

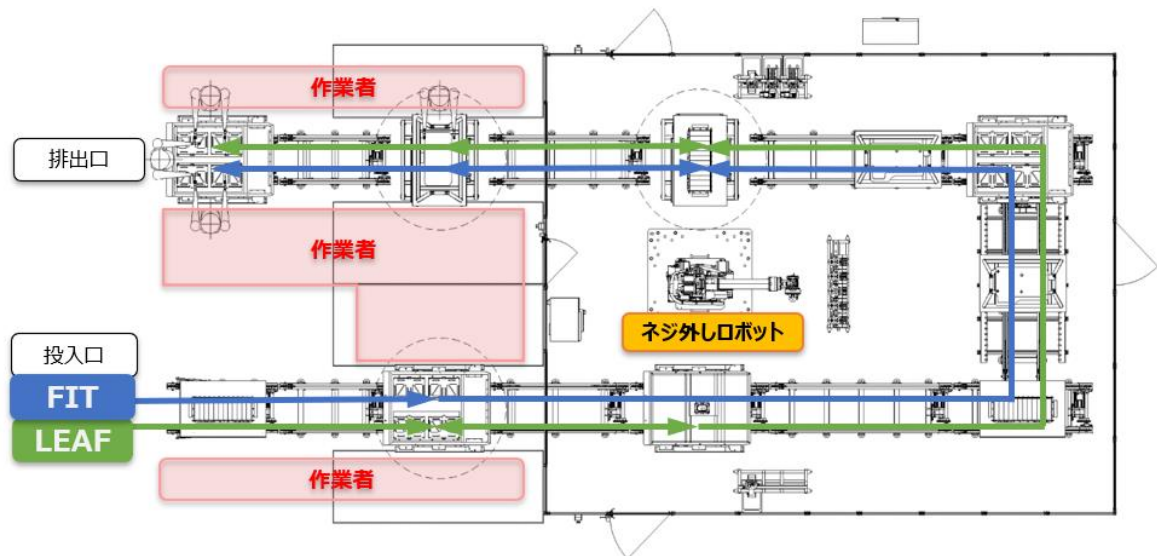


図 3. 2. 3-6 LIB ユニット解体ライン

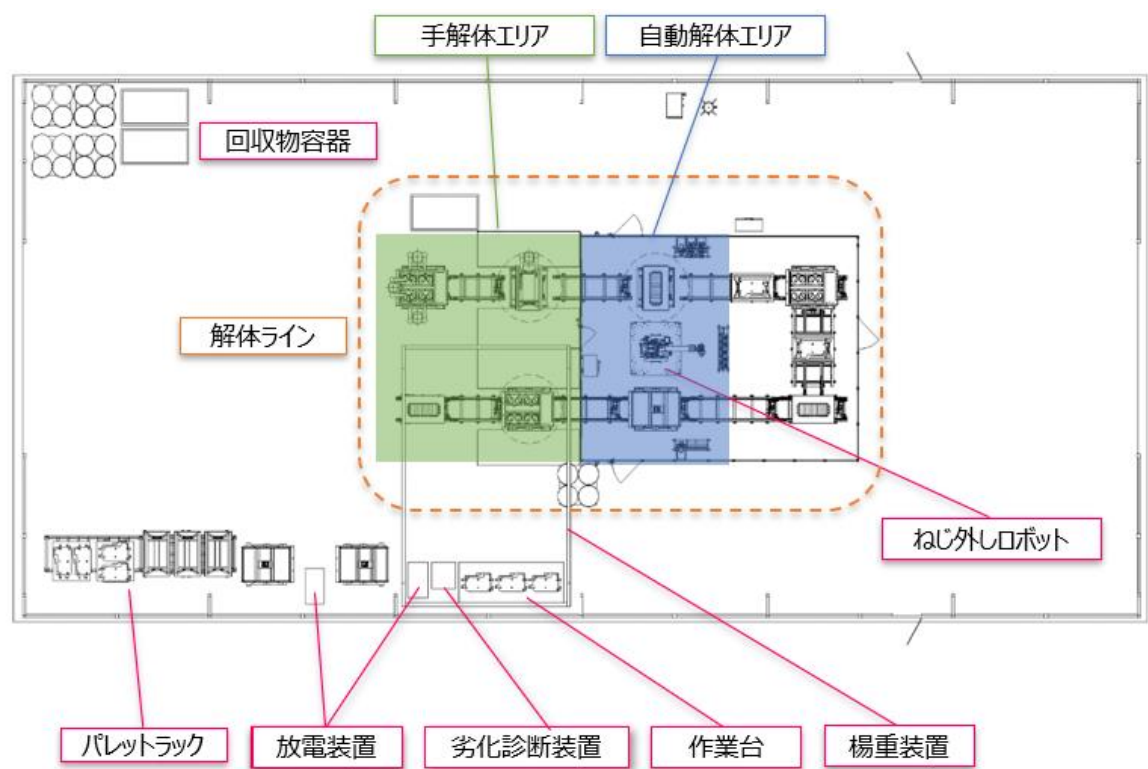


図 3. 2. 3-7 LIB ユニット解体ライン周辺レイアウト

(b) 揚重装置

LIBユニット解体ラインに投入前に劣化診断及び放電作業を行うことを考慮して、LIBユニット解体ライン周辺に劣化診断装置及び放電装置を配置した。放電装置周辺からライン投入時には揚重装置を使用することで安全性の確保及び作業負担を軽減する。揚重装置は、LIBユニット解体ライン上の治具パレットにLIBユニットを設置する際に微調整が必要なことから操作性などを考慮して検討した。

図 3. 2. 3-8 に揚重装置を示す。



図 3. 2. 3-8 揚重装置

(c) 治具パレット

LIBユニット解体ラインへ各 LIB ユニットを投入する際は、パレット治具を使用する。各治具パレットは共通パレットの上に各 LIB ユニット専用の治具を載せることで様々な形状に合わせて対応することが可能である。

治具パレットを図 3. 2. 3-9 に示す。

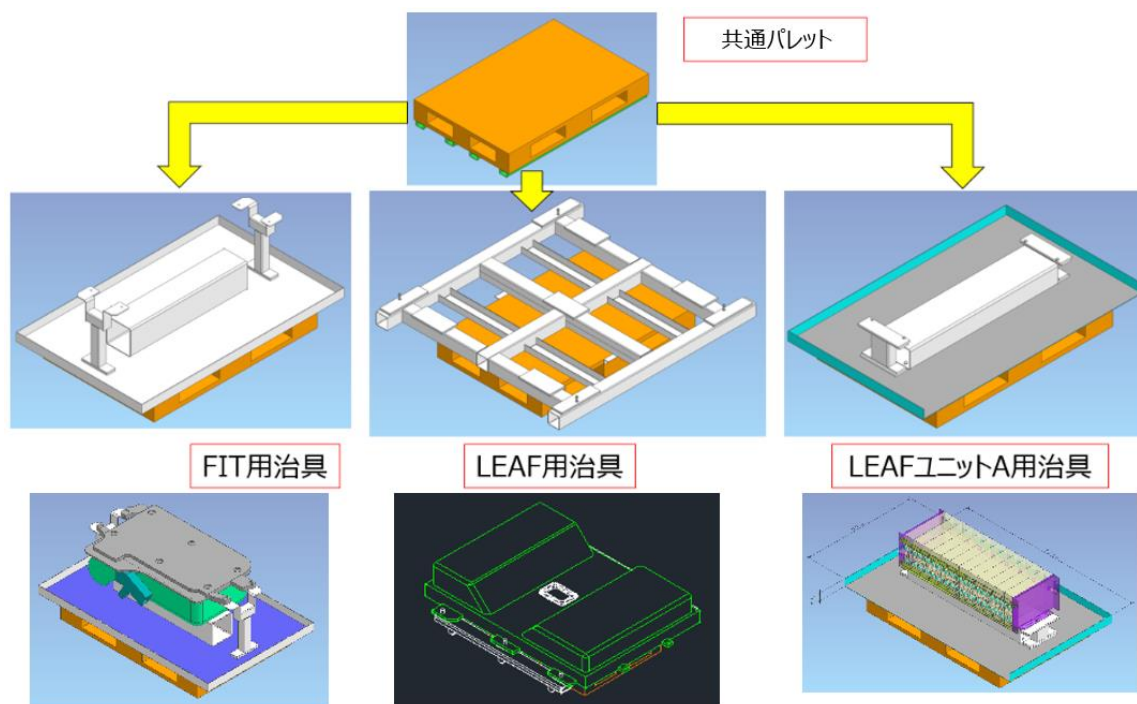


図 3. 2. 3-9 治具パレット

(d) 作業姿勢

手解体エリアにおいて上面や側面からの作業が必要となる、作業者に負担の少ない作業姿勢となるようにパレット治具の高さを検討した。

LEAF-LIB 作業姿勢を図 3. 2. 3-10 に、FIT-LIB 作業姿勢を図 3. 2. 3-11 にそれぞれ示す。

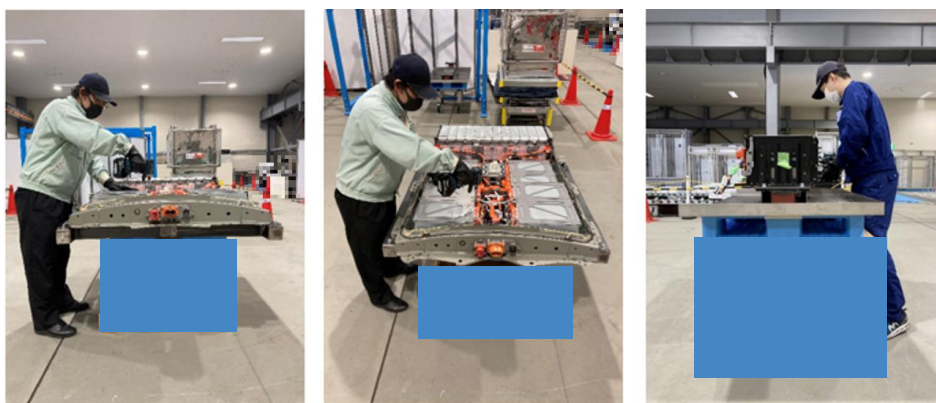


図 3. 2. 3-10 LEAF-LIB 作業姿勢

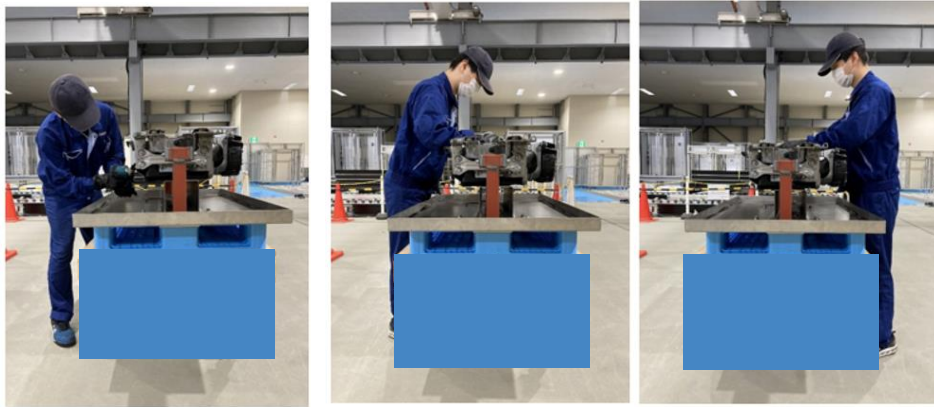


図 3. 2. 3-11 FIT3-LIB 作業姿勢

(e) 自動ねじ取り外し機構

LIB ユニット解体ラインの自動ねじ取り外し機構には以下の構成要素がある。

➤ 産業用ロボット

ねじ取り前、ロボットビジョン、ナットランナー、ソケットをねじ位置に移動させる。また、ねじ取り外し後にロボットビジョン、ナットランナー、ソケットをねじ回収装置まで移動させる。リーチ長や自由度から 6 軸垂直多関節ロボットを採用した。産業用ロボットを図 3. 2. 3-12 に示す。

➤ ロボットビジョンシステム

LIB ユニットの位置検出を行い、事前にティーチングした位置とのずれ量を補正する。ロボットビジョンシステムを図 3. 2. 3-13 に示す。

➤ ナットランナー・ソケット

ロボットハンド部に搭載し、ナットランナーの回転動作によりねじ緩め動作を行う。ソケット部を交換することで複数のねじ類に対応する。ソケット先端には永久磁石により外したねじが保持される。ナットランナー・ソケットを図 3. 2. 3-14 に示す。

➤ ねじ回収装置

外したねじをソケット先端より回収するため把持機構を持つ。ねじ回収装置を図 3. 2. 3-15 に示す。



名称	MOTOMAN-GP180-120	
形式	YR-1-05VX180-120-A00	
構造	垂直多関節型 (6自由度)	
可搬質量	手首部	120 kg
	Uアーム上	30 kg
最大リーチ	3058 mm	
位置繰返し精度*1	0.05 mm	
動作範囲	S軸(旋回)	-180° ~ +180°
	L軸(下腕)	-60° ~ +76°
	U軸(上腕)*2	-86° ~ +90°
	R軸(手首旋回)	-360° ~ +360°
	B軸(手首振り)	-130° ~ +130°
	T軸(手首回転)	-360° ~ +360°
最大速度	S軸(旋回)	2.18 rad/s、125°/s
	L軸(下腕)	2.01 rad/s、115°/s
	U軸(上腕)	2.18 rad/s、125°/s
	R軸(手首旋回)	3.18 rad/s、182°/s
	B軸(手首振り)	3.05 rad/s、175°/s
	T軸(手首回転)	4.63 rad/s、265°/s
許容モーメント	R軸(手首旋回)	883 N・m
	B軸(手首振り)	883 N・m
	T軸(手首回転)	520 N・m
許容慣性モーメント (GD ² /4)	R軸(手首旋回)	79 kg・m ²
	B軸(手首振り)	79 kg・m ²
	T軸(手首回転)	40 kg・m ²
本体質量	1090 kg	
保護等級	本体：IP54 手首部：IP67	
設置環境	温度	0℃ ~ +45℃
	湿度	20% ~ 80%RH (結露のないこと)
	振動加速度	4.9 m/s ² (0.5 G) 以下
	標高	1000 m以下
電源容量*3	5.0 kVA	
設置方式	床置き	
オプション仕様*4	防滴仕様 (本体：IP65 手首部：IP67)	

図 3.2.3-12 産業用ロボット

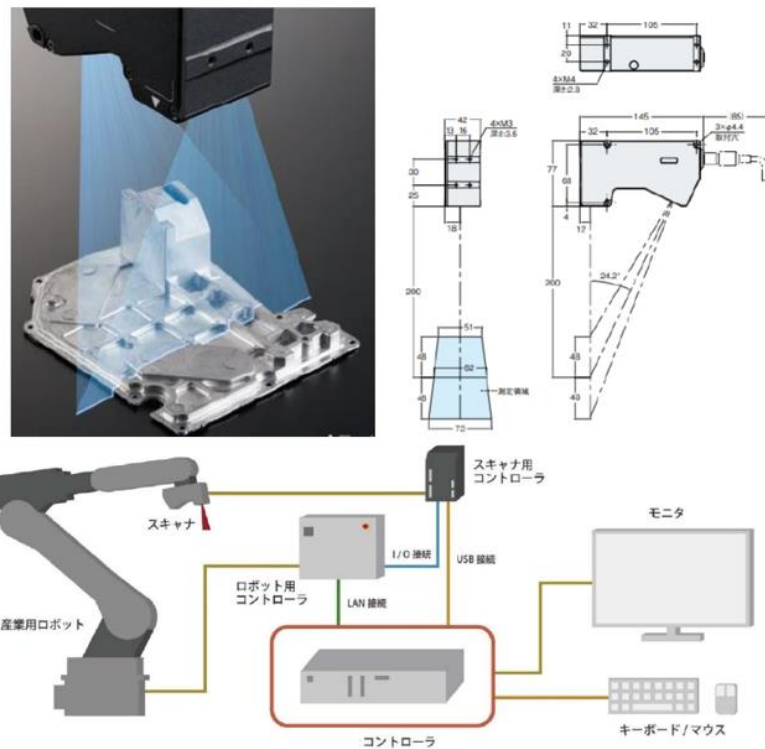


図 3.2.3-13 ロボットビジョンシステム

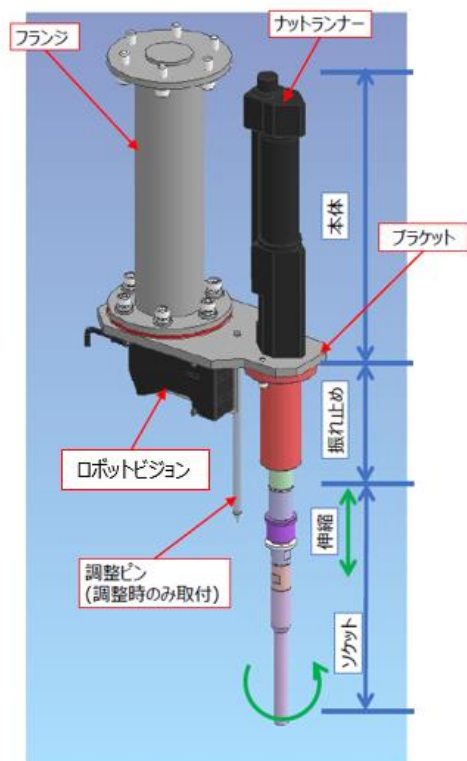


図 3.2.3-14 ナットランナーとソケット

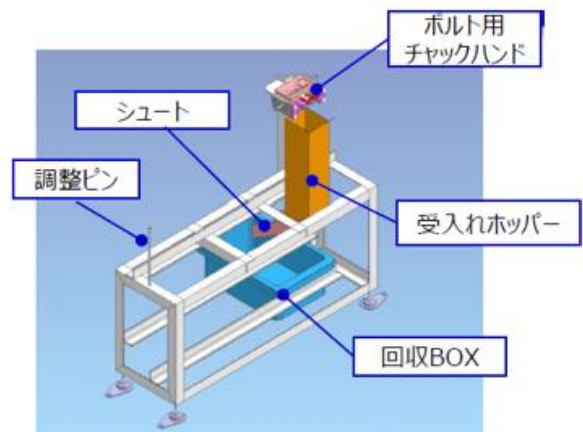


図 3.2.3-15 ねじ回収装置

以上、LIBユニットの解体自動化に向けて、本年度はLIBユニットの解体調査を行い、解体作業における自動化範囲の検討、解体ラインの設計及び揚重装置や放電装置等を含めたレイアウト、及び解体自動化等に必要となる各種装置・ロボットを選定した。

(3) 今後の課題

LIBユニットの解体自動化における今後の課題はLIBユニット解体ラインを立ち上げによる、同一ラインでのFIT3-LIBとLEAF-LIBの解体についての実証である。

3. 3 LIBの熱分解処理、破碎・選別処理に関する検討

解体したモジュール又はセルを熱分解し、LIB内の有機物である電解液を無害化する技術、並びに後段の破碎・選別、Co、Ni回収で高効率な分離を実現できる熱分解処理条件を検討した。なお、熱分解後のLIBの破碎・選別においては、Co、Niを高収率、高効率で得るための設備及びフィールド機の技術要件等に関する検討を行った。

3. 3. 1 LIBモジュールの熱分解

解体したモジュール又はセルを熱分解し、LIB内の有機物である電解液を無害化する技術、並びに後段の破碎・選別、Co、Ni回収で高効率な分離を実現できる熱分解処理条件を検討した。

(1) 本年度の成果

1) 熱分解炉の仕様検討

LIB内の有機物である電解液を無害化し、後段の破碎、選別にてCo、Niを高効率で分離、回収するための熱分解炉の仕様を検討した。

仕様検討において、以下を前提条件とした。

- ・条件① : 処理流量を最大2.0t/day、常用1.5t/dayとすること
- ・条件② : 熱分解時、LIB内の正極材(A1)、負極材(Cu)を極力脆化(酸化)、溶解させないこと
- ・条件③ : LIB内の正極材を溶解させないため、熱分解炉内の温度をA1の融点以下にて保持できること
- ・条件④ : 長さ250mm以上、重量3kg/個以上の車載LIBが安定した処理流量で処理できること

後段の破碎、選別において、Co、Niを高効率で回収するためには、上記条件②、③は必須である。特にA1が脆化(酸化)すると、後段の破碎、選別時にA1が微粉化し、回収する活物質内に混入する可能性がある。よって、如何にA1を脆化させずに熱分解できるかが重要である。また、本事業の対象原料であるFIT3、LEAFモジュールは、1個当りの長さが250mm以上、重量3kg以上となるため、そのサイズのLIBを定量的に処理できる仕様とする必要がある。LIB電解液は危険物であり、また放電しているとは言え若干量の電気も保持しているため、操業上での安全面も考慮し、仕様を検討した。

上記条件を検討し、決定した熱分解炉の仕様を表3.3.1-1に示す。

表 3.3.1-1 熱分解炉の仕様

熱分解方法	過熱蒸気式熱分解炉
原料装入方法	バッチ式
熱分解炉雰囲気温度	450℃～600℃
熱分解炉 容積	4 m ³

正極材(Al)、負極材(Cu)の脆化を低減させるため、過熱蒸気式熱分解炉を採用した。過熱蒸気を熱分解炉内に吹き込み熱分解することで、炉内を低酸素雰囲気とすることができる。

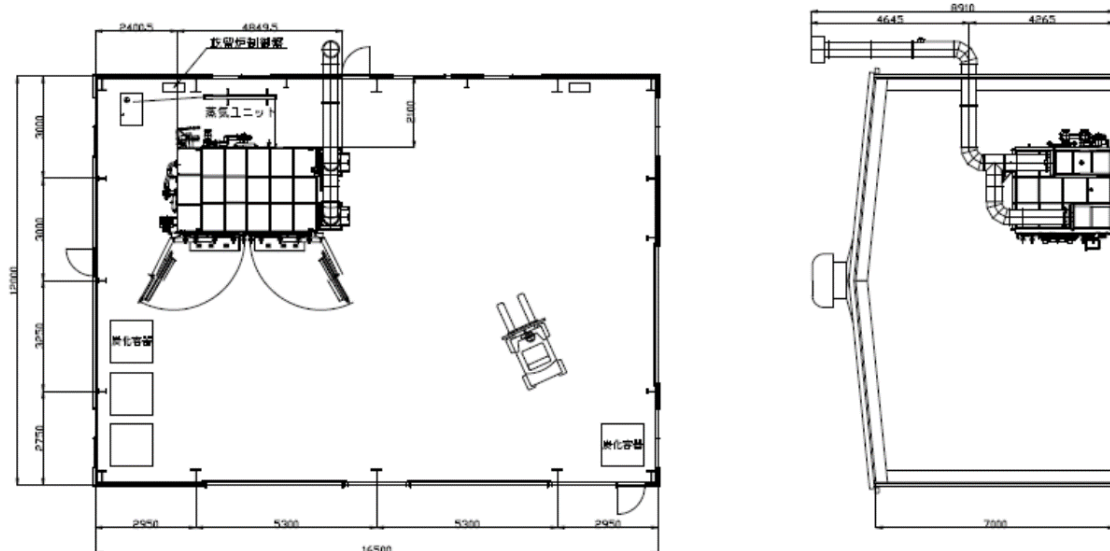
原料装入方法はバッチ式とした。対象原料が長さ 250mm 以上で、かつ重量が 3kg/個以上となるため、キルンのような連続投入式だと処理流量が安定しない可能性がある。

また十分な処理流量が得られるように炉内容積を 4 m³とした。

2) 熱分解炉の製作、設置

上記で検討した熱分解炉仕様にて、熱分解炉の製作、設置を行った。

製作、設置したバッチ式過熱蒸気式熱分解炉(後述 バッチ炉)のレイアウトを図 3.3.1-1 に示す。



【バッチ炉 仕様】

- ・建屋面積 : 198m²
- ・炉(熱分解室)の内容積 : 4m³ (2m³×2室)
- ・最大処理能力 : 2.0 t/day(1バッチ)

図 3.3.1-1 バッチ炉 設置レイアウト

バッチ炉を導入する建屋は、消防署との協議にて 198 m²とし、準耐火構造とした。炉の内容積(原料を装入する熱分解室の内容積)は、仕様検討の通り 2 m³×2 室の 4 m³とし、最大処理能力は 2.0t/day となる。一日当たり 1 バッチにて最大 2.0t/day の熱分解が可能である。熱分解原料は、専用の原料 BOX に入れ、フォークリフトにて熱分解室に装入する。原料 BOX 毎に違う原料を入れることが可能で、他の原料との混焼も可能となる。

3) バッチ炉における熱分解挙動の確認

設置したバッチ炉にて、設計通りの熱分解処理が可能であることを確認するため、熱分解挙動の確認試験を行った。

本試験で使用した熱分解原料を図 3.3.1-2 に示す。



図 3.3.1-2 熱分解原料

FIT3 及び LEAF LIB モジュールは本年度準備ができなかったため、上記原料にて挙動を確認した。

本試験の熱分解条件及び処理結果を表 3.3.1-2 に示す。

表 3.3.1-2 小型家電 LIB Ni 系 熱分解条件、熱分解結果

	LIB Ni 系円筒型 装入量 (kg/バッチ)	熱分解物量 (kg/バッチ)	熱分解歩留 (%)
バッチ①	467	290	62.1
バッチ②	986	615	62.4
バッチ③	1,200	755	62.9
バッチ④	1,500	937	62.5
合計	4,153	2,597	62.5

バッチ炉が設置され初めての熱分解処理となるため、安全を考慮して 467kg/バッチから徐々に装入量を増やしていった。

最大 1,500kg/バッチまでの熱分解処理を行ったが、熱分解歩留も 62.1%~62.9%で安定しており、熱分解時に温度異常等は発生しなかった。

バッチ④における熱分解時の温度挙動は、昇温開始から熱分解完了までは約 23 時間であり、1,500kg/バッチで 23 時間/バッチとなることから、仕様として設定した常用 1.5t/day の処理能力は十分有していると思われる。

熱分解を行う熱分解室原料 BOX 部の温度(原料装入部温度)は、上部と下部で温度偏析があり、最も低い箇所約 470℃、最も高い箇所約 620℃まで上昇した。

小型家電用 LIB Ni 系 円筒型の熱分解産物において、プラスチック、電解液は完全に熱分解されていた。しかしながら、LIB 内部の性状を確認したところ、図 3.3.1-3 に示すような正極材(A1)の脆化が確認された。

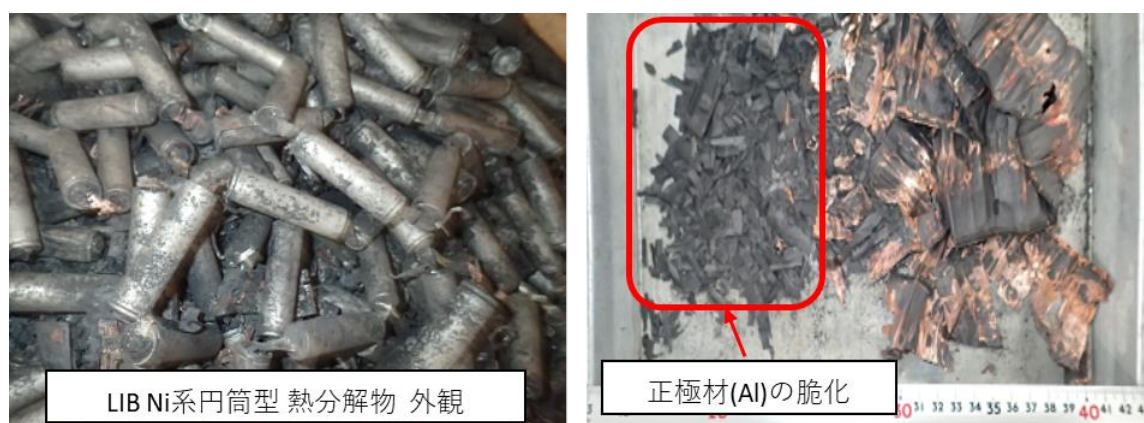


図 3.3.1-3 LIB Ni 系円筒型 熱分解物

LIB の中でも、特に Ni 系は、過去の経験より熱分解時に激しく発熱反応を示すことが確認されており、その影響で A1 が脆化した可能性が高い。熱分解時、熱分解室の室内温度に急激な温度上昇は確認されず、また最大 620℃程度であるが、あくまで雰囲気温度であり、局所的な物温自体の急激な温度上昇が発生している可能性がある。

本試験による LIB Ni 系円筒型熱分解物を原料として破碎・選別を行い、回収される活物質内に脆化した A1 が混入するか確認するとともに、今後、熱分解温度の調整等で A1 の脆化を防ぐことができるか確認する必要がある。

(2) 今後の課題

1) 小型家電 LIB Ni 系円筒型による熱分解処理検討

本年度の試験にて、小型家電用 LIB Ni 系 円筒型の熱分解挙動を確認したが、熱分解産物に一部正極材 (A1) の脆化が確認された。 熱分解温度条件の調整により、脆化を防ぐことが可能か今後検討する。

2) FIT3 及び LEAF モジュールを用いた熱分解処理検討

FIT3 及び LEAF モジュールを用いた熱分解処理を行い、熱分解挙動を確認する。

3) FIT3、LEAF モジュールの熱分解時の排ガス成分確認

FIT3、LEAF モジュールの熱分解時の排ガス測定を行い、熱分解時に発生する排ガスの成分確認を行う。確認する排ガス成分は、 HF、HCl、Pb、CO、CO₂、SO_x、NO_x、ばいじんとする

3. 3. 2 熱分解後の破碎・選別

解体したモジュール又はセルの熱分解後の LIB の破碎・選別において、Co、Ni を高収率、高効率で得るための設備及びフィールド機の技術要件等に関する検討を行った。

(1) 昨年度の成果と課題

1) 破碎・選別システムの検討方針

本事業における車載 LIB のリサイクルフローでは、ユニットからセル又はモジュール単位に解体した LIB を原料とし、熱分解、破碎・選別、湿式製錬の処理により Co、Ni を回収する。

このフローにおける破碎・選別は、後段の Co、Ni 回収工程の原料である活物質と Cu、Al 等のシート材を選別することを目的としている。

昨年度は、Co、Ni を高効率にて回収する為の破碎・選別機等主要機器の仕様を検討するとともに、ライン化を想定した最適な設備レイアウトを検討した。また、破碎・選別等主要機器の仕様検討にあたり、次の目標を設定した。

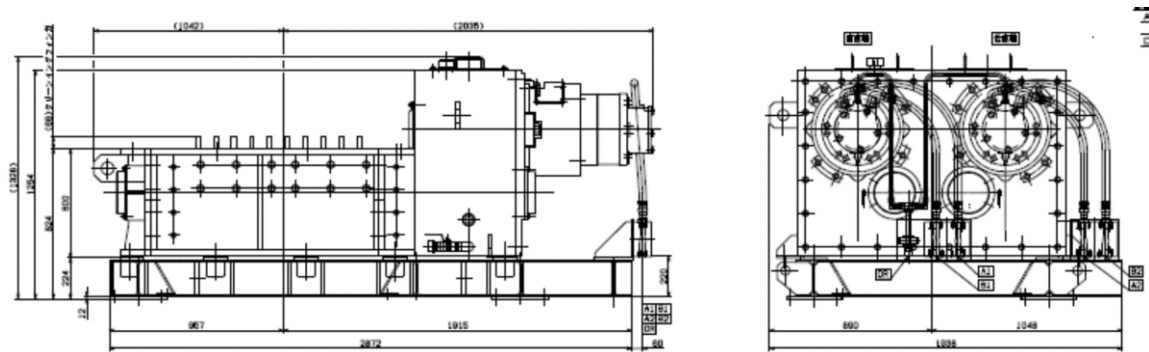
- ・活物質に含まれる Co、Ni それぞれの回収率を 90%以上とする。
- ・回収される活物質中へのシート材である Cu、Al の混入率を 10%以下とする。
- ・活物質は、採算性を考慮して回収率を高める一方で、活物質への Cu、Al の混入は、後段の Co、Ni 回収工程におけるコストアップにつながるため、極力活物質への混入を避ける。

2) 破碎機の選定

車載 LIB の筐体、正極材（アルミニウムシート材）、負極材（銅シート材）から活物質である Co、Ni を高効率で単体分離可能な破碎機を選定した。単体分離性は、後の選別工程での Co、Ni 回収率に大きく影響するため、如何に選択的に活物質をシート材等から剥離（単体分離）するかが重要である。過去のトライアル試験にて、回転型の衝撃式破碎機であるハンマーシュレッダーがシート材からの活物質剥離に有効であることが判明しているため、破碎機メーカーにて同型破碎機を用い、実機レベルの破碎テストを実施し、活物質の単体分離性を確認した。また、ハンマーシュレッダー単体だけの破碎では筐体が強固な車載 LIB を破碎できないため、二軸せん断機による前処理破碎（粗破碎）も併せて検討した。

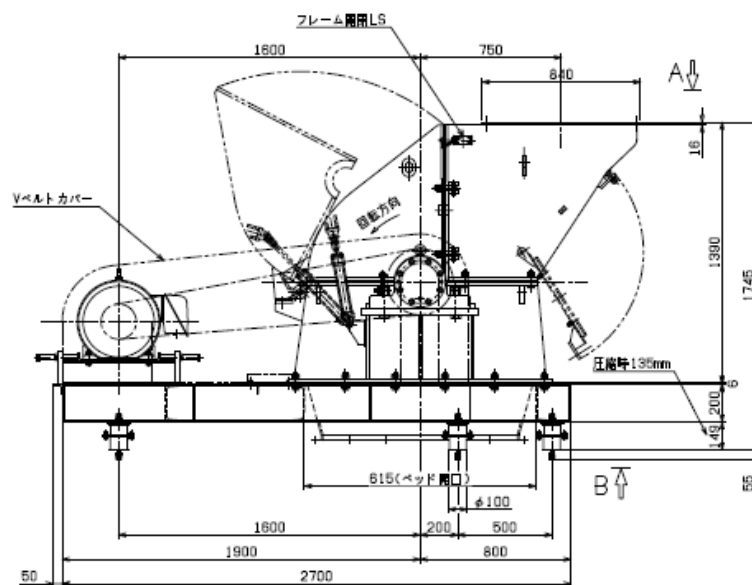
両破碎機の処理能力としては、最大処理能力 500kg/h、常用 300kg/h と設定した。

上記の検討結果として決定した二軸せん断機、ハンマーシュレッダーの最終仕様を図 3.3.2-1 及び図 3.3.2-2 にそれぞれ示す。



破砕機メーカー	メーカーB
駆動方式	油圧駆動
処理能力	最大500kg/h（常用300kg/h）

図 3.3.2-1 二軸せん断機の最終仕様



破砕機メーカー	メーカーB
ハンマー周速	インバーター制御
処理能力	最大500kg/h（常用300kg/h）

図 3.3.2-2 ハンマーシュレッダーの最終仕様

3) 選別機の選定

二軸せん断機、ハンマーシュレッダーによって破碎され、単体分離された活物質、Cu・Al、鉄を分離回収する選別方法は、過去のトライアル試験によって図 3.3.2-3 に示す選別フローが最適であることが判明している。そこで、フローに示す選別機の選定、及び選別機の最終仕様を検討した。

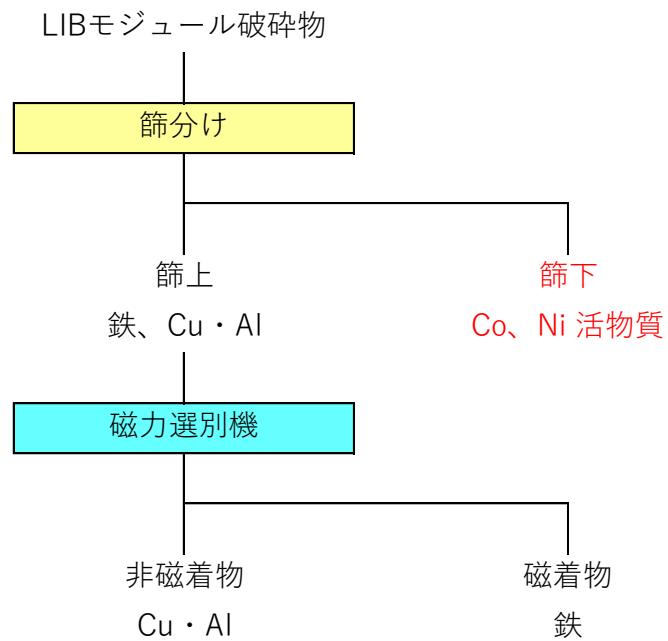
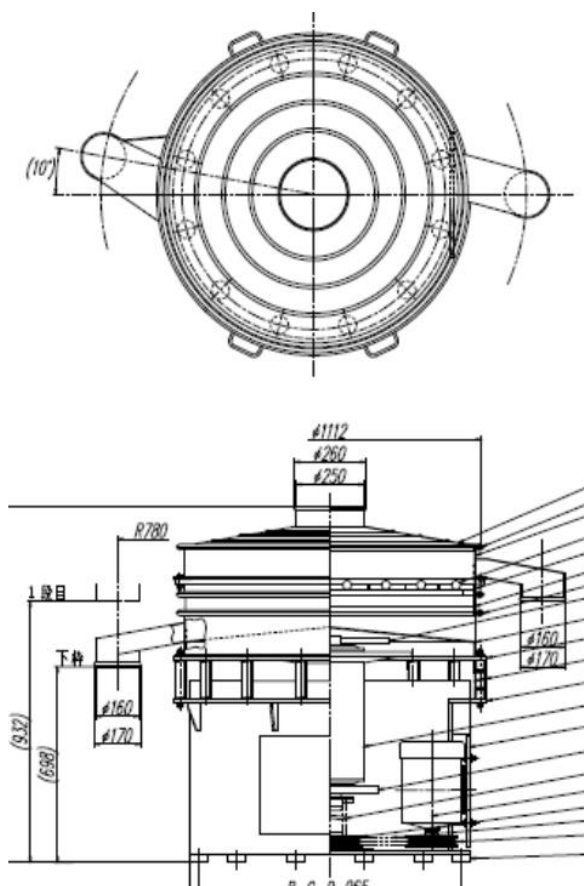


図 3.3.2-3 選別フロー

(a) 篩分け機を選定

活物質の選別は、篩分けにより行う。破碎機の処理能力に合わせ、500kg/h にて設計した。FIT3 モジュール熱分解物におけるハンマーシュレッダー破碎物を用いて、篩分け機メーカーにて実際に篩分け試験を実施し、図 3.3.2-4 に示す篩分け機を最終仕様とした。



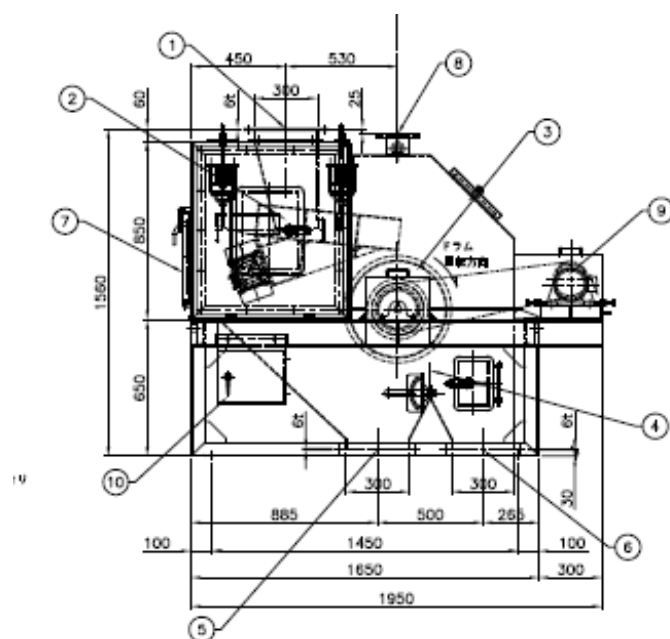
篩分け機タイプ	円形型振動篩い
処理能力	最大500kg/h（常用300kg/h）

図 3.3.2-4 篩分け機の最終仕様

(b) 磁力選別機の選定

篩分け後の Fe、Cu・Al の選別は、磁力選別機により行う。磁力選別機には吊り下げ型、プーリー型等様々な型式があるが、最も選別効率、回収率が良いドラム型を採用した。また、LIB モジュールの筐体、LIB モジュールに同伴するビス等の鉄を高収率で回収するため、高 Gauss タイプ（電動機 0.75kW、磁束密度は 1,500Gauss）を選定した。

選別対象物が回転するドラムに投入され、磁性がある鉄は磁着物で、磁性が無い Cu・Al は非磁着物で回収される。分離精度は、ドラム周速、分離板角度で調整し、原料によって最適な条件を設定する。図 3.3.2-5 に磁力選別機の最終仕様を示す。



型式	日本磁力選鉱(株) DPT-4660
選別タイプ	ドラム型磁力選別機
磁束密度	1,500 Gauss
ドラム周速	60m/min , 60Hz(インバーター制御)
処理能力	最大500kg/h (常用300kg/h)

図 3.3.2-5 磁力選別機の最終仕様

4) 設備レイアウト検討

最終仕様を決定した破碎機、選別機のレイアウトを検討した。

(a) ライン構成の検討

図 3.3.2-6 にライン構成の検討結果を示す。 破碎・選別システムとして、処理対象に応じて柔軟に処理フローを変更できるようにするため、二軸せん断機を独立させ、ハンマーシュレッダーと選別機をラインとして構成した。二軸せん断機は前処理として粗破碎するための設備であり、粗破碎が不要な処理対象物に対しては、合理的にハンマーシュレッダーだけの破碎と選別を行うことを可能としている。本事業における対象の FIT3 及び LEAF の LIB モジュールは、二軸せん断機による破碎が必要であるが、強固な筐体を持たない LIB セル単位で構成される LIB の処理を考慮し、柔軟に処理フローを変更できる。

ハンマーシュレッダーと選別機のラインには、原料受入れ後に、簡易的な振動篩いを設置した。これは二軸せん断機による粗破碎で発生する微粉や粉体が多い原料に対応するための処置であり、粉体を事前に回収することで、ハンマーシュレッダーでの破碎効率を向上させ、またハンマーシュレッダーからの集塵物量を減らし、可能な限り集塵機の容量を抑えることが可能となるため設置した。

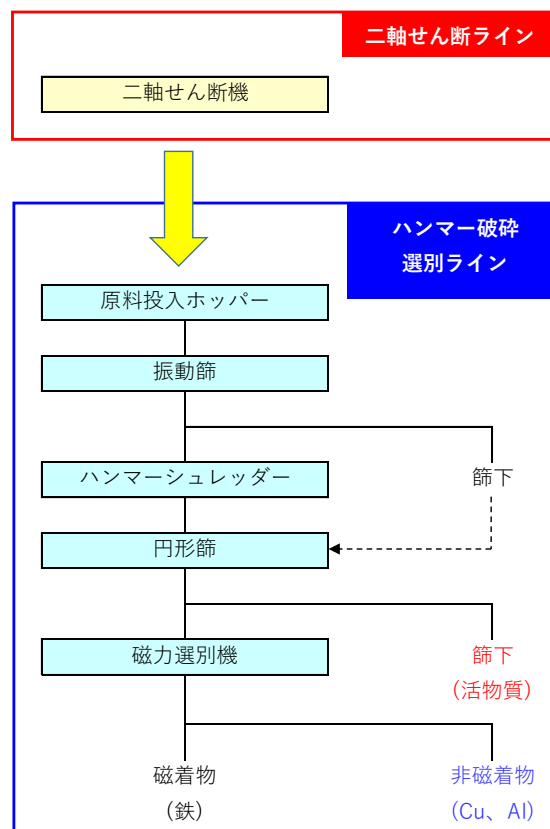


図 3.3.2-6 ライン構成

(2) 本年度の成果

1) 破碎、選別ラインの製作、設置

昨年度における破碎機、選別機、設備レイアウトの検討結果を基に詳細設計を行い、二軸せん断ライン、ハンマー破碎選別ラインの製作、設置を行った。

処理対象に応じて柔軟に処理フローを変更できるようにするため、二軸せん断ライン、ハンマー破碎選別ラインのそれぞれを独立させ設備を配置した。設備を導入する建屋面積を極力小さくし、かつ処理の作業性を考慮して配置を決定した。両ラインの設置建屋面積は $26\text{m} \times 15\text{m} = 390 \text{ m}^2$ とした。

両ラインは Co、Ni、Mn を含む LIB を原料とした粉塵を取り扱う設備となる為、労働安全衛生法上の特定化学物質障害予防規則(特化則)に準じ、局所排気装置を設置した。建屋外 3 か所にバグフィルターを設け、各設備、付帯設備からの環境集塵、局所集塵に対応できる形とした。また、最終仕様の見直しを行い、ハンマー破碎選別ラインの振動篩の仕様を一部変更した。

振動篩は、微粉や粉体が多い原料において、ハンマーシュレッダー破碎前に微粉や粉体を回収し、ハンマーシュレッダーの破碎効率を向上させ、集塵物量を減らし、可能な限り集塵機の容量を抑えることを目的として設置した。LIB には今回の事業で対象とした FIT3、LEAF に搭載されたもの以外にも様々な仕様がある。これらを熱分解した際の性状はそれぞれ異なり、粉体が多いものもあれば少ないものも存在する。粉体が少ないものは、篩分けし、粉体をライン系外に排出する必要性が無いため、操業効率を考えて篩下をそのまま系内に戻す機能を追加した。最終仕様のライン構成を図 3.3.2-7 に示す。

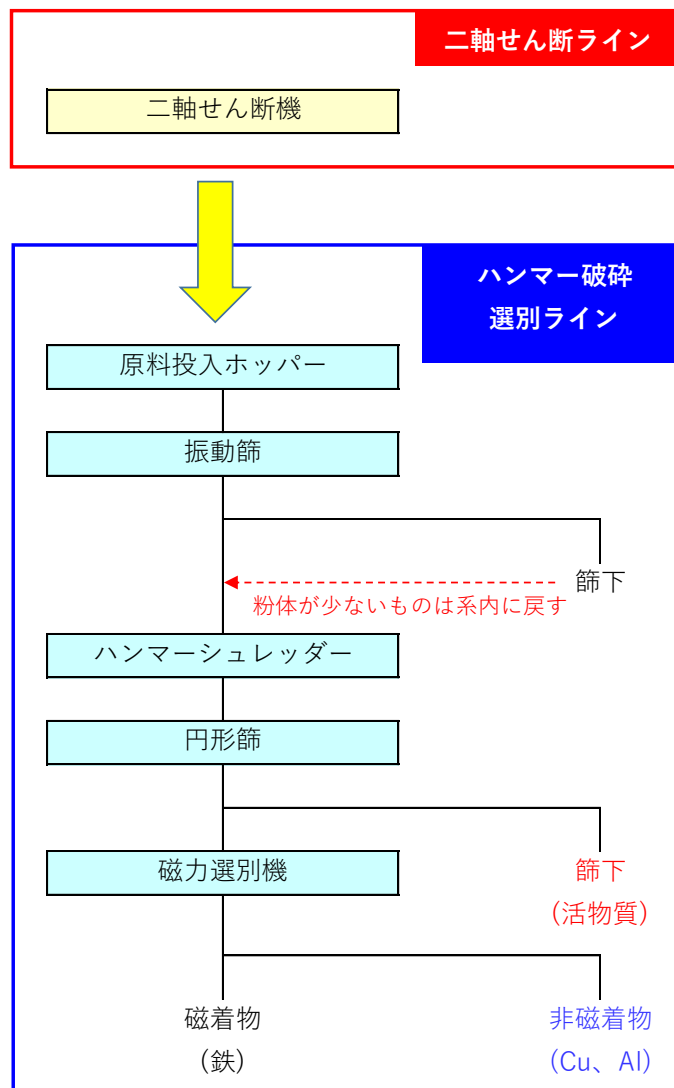


図 3.3.2-7 最終仕様のライン構成

2) ハンマー破碎選別ラインにおける破碎選別能力確認試験

本年度は、日本磁力選鉱㈱(以下、NMD)で回収した小型家電用 LIB 熱分解物を用いて本ラインの能力確認を行った。本試験に用いた小型家電用 LIB 熱分解物原料を表 3.3.2-1 に示す。

表 3.3.2-1 本試験に用いた小型家電用 LIB 熱分解物

対象原料	LIB Ni 系 円筒型	LIB Co 系 円筒型	LIB Co 系 角型
写真			
熱分解条件	NMD バッチ炉 熱分解物	NMD キルン炉 熱分解物	NMD キルン炉 熱分解物

本事業での対象原料とは異なるが、今後の破碎選別条件設定の傾向を確認するため、上記原料を用いて本試験を実施した。なお、LIB Ni 系円筒型は前項の 3.3.1 項で検討、設置したバッチ式熱分解炉で、LIB Co 系円筒型、LIB Co 系角型については、NMD に設置されている既存のキルン炉で熱分解を行ったものである。本試験で実施した試験項目を表 3.3.2-2 及び図 3.3.2-8 に示す。

表 3.3.2-2 試験項目

項目①	処理流量の確認	設定した処理流量を満足できていることを確認する
項目②	振動篩 篩下産物の確認	ハンマーシュレッダー破碎前における振動篩 篩下産物を確認する
項目③	Co、Ni 回収品位、回収率の確認	ハンマーシュレッダー破碎後の回収産物を確認する。及び活物質の Co、Ni 品位を確認し、Co、Ni 回収率を確認する。

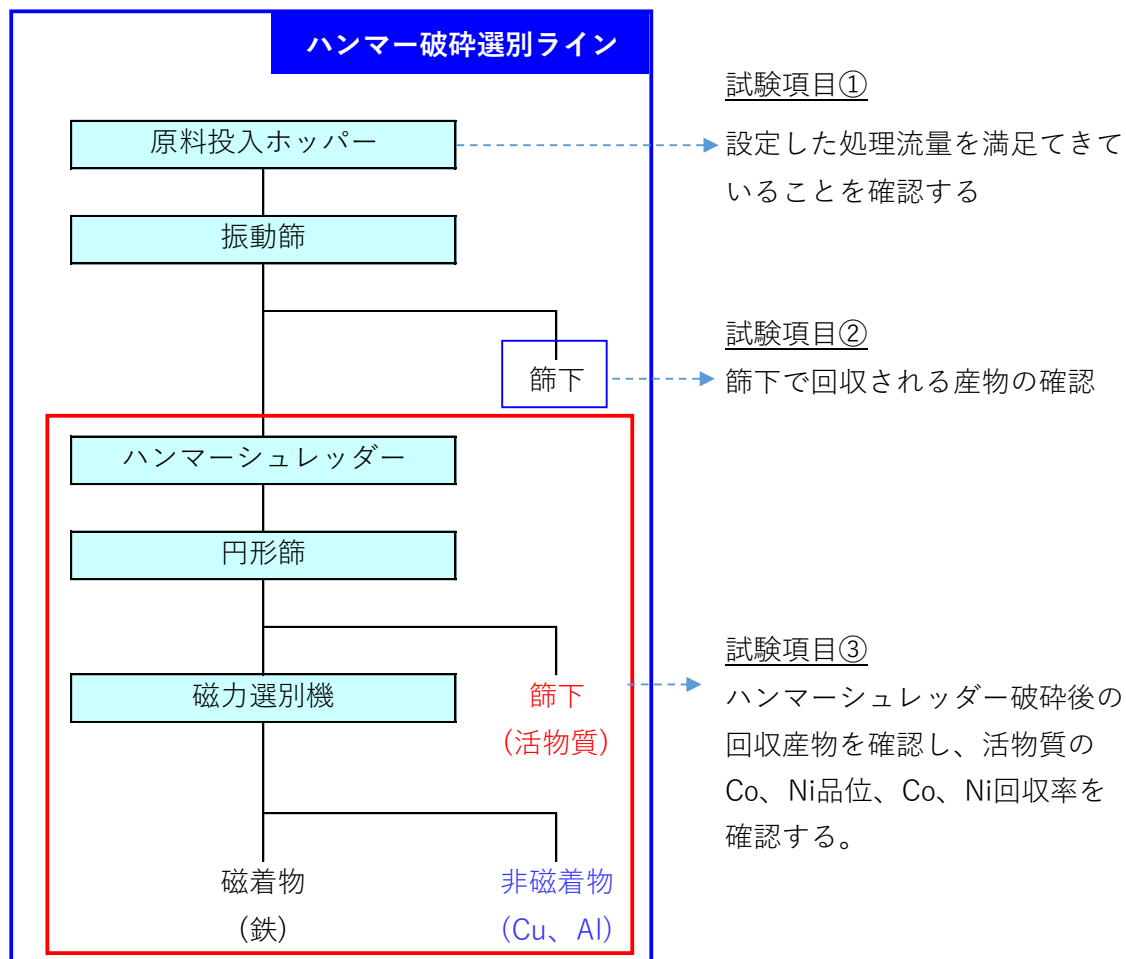


図 3.3.2-8 ハンマー破碎選別ライン 試験項目

各種小型家電 LIB の熱分解物は、サイズが小さく二軸せん断ラインによって粗破碎する必要性が無い。よって、ハンマー破碎選別ラインのみの処理で試験を実施した。

① 処理流量の確認

ハンマー破碎選別ラインの処理能力は、次に示す条件にて設計した。

- ・ハンマー破碎選別ライン処理能力 : 最大処理能力 500kg/h、常用 300kg/h

設定した処理能力を各原料で満足できているかの確認を行った。原料供給ホッパーからの原料投入量(処理流量)は、原料給鉱コンベアのインバーター周波数、及び原料切り出しダンパーの開度で調整した。インバーター周波数の下限は 6Hz であり、またダンパー開度は最小が 0%となっている。両条件を変更し、処理流量を確認した結果を表 3.3.2-3 に示す。

表 3.3.2-3 各原料の処理流量

原料名	給鉍量	給鉍コンベア 周波数	給鉍ダンパー 開度	投入時間		給鉍速度
	(kg)	(Hz)	(%)	(分)	(秒)	(kg/h)
LIB Ni 系 円筒型	582	8	0	57	24	608
	643	6	0	57	17	673
	649	6	0	68	42	567
LIB Co 系 円筒型	574	8	0	118	21	291
	563	6	30	87	27	386
LIB Co 系 角型	475	6	0	93	25	305
	470	6	0	85	56	328

LIB Ni 系円筒型の処理流量において、設定値の約 2 倍となり、また流量にバラつきが発生した。LIB Ni 系円筒型熱分解物は、他の原料と比較して嵩比重が最も大きいことが処理流量過多の理由として挙げられるが、もう一つの理由として組電池が非常に多く、図 3.3.2-9 に示すような数珠状の熱分解物が多く含まれていた。



図 3.3.2-9 LIB Ni 系円筒型 熱分解物

数珠上の熱分解物が多く含まれると給鉍時に絡まり、一気に給鉍ホッパーから排出してしまうため、処理流量過多とバラつきが発生したと思われる。改善方法として、二軸せん断ラインにて粗破碎し、数珠上の組電池を解砕することが考えられる

が、同処理量で後の破碎、選別精度に影響がなければ、処理流量過多でも問題は無い。試験項目②、③において検証する。

その他、LIB Co 系円筒型と LIB Co 系角型においては、ほぼ設定通りの流量が得られた。

② 振動篩 篩下産物の確認

各小型家電 LIB 焼成物の振動篩 篩下産物において、回収される重量割合と Co、Ni 含有量を調査した結果を表 3.3.2-4 に示す。また参考として、過去実施した篩分けバッチテストの結果を表 3.3.2-5 に示す。

表 3.3.2-4 振動篩 篩下産物性状

原料名	処理流量 kg/h	重量割合 Wt%	Co 含有量 %	Ni 含有量 %	Cu 含有量 %
LIB Ni 系 円筒型	674	8.7	0.3	3.0	31.7
LIB Co 系 円筒型	386	10.7	11.3	6.0	20.4
LIB Co 系 角型	327	6.4	26.5	5.6	9.8

表 3.3.2-5 過去実施した篩分けバッチテスト結果

原料名	重量割合 Wt%	Co 含有量 %	Ni 含有量 %	Cu 含有量 %
LIB Ni 系 円筒型	5.2	0.3	3.5	24.7
LIB Co 系 円筒型	13.2	11.6	5.5	10.8
LIB Co 系 角型	6.4	16.0	14.4	13.4

LIB Ni 系円筒型において、処理流量が過多となっても、過去行ったバッチテストと重量割合、Co、Ni 含有量に大きな相違はない。よって処理流量過多でも選別精度に影響はないと考えられる。また Co、Ni の含有量が少なく、Cu の含有量が大きなことから、篩下を系外にて Cu 原料として回収した方が有効であると考えられる。

LIB Co 系円筒型において、重量分布、Co、Ni 含有量はバッチテスト結果と大きな相異はなく、Co 含有量が 11.6%と大きい為、Co 回収を目的とするのであれば、系外にて篩下を回収せず、系内に戻し破碎処理を行った方が有効であると考えられる。LIB Co 系角型においても同様で、篩下の Co 含有量が大きいため、系内に戻した方が有効であると考えられる。回収した各種篩下産物を図 3.3.2-10 に示す。

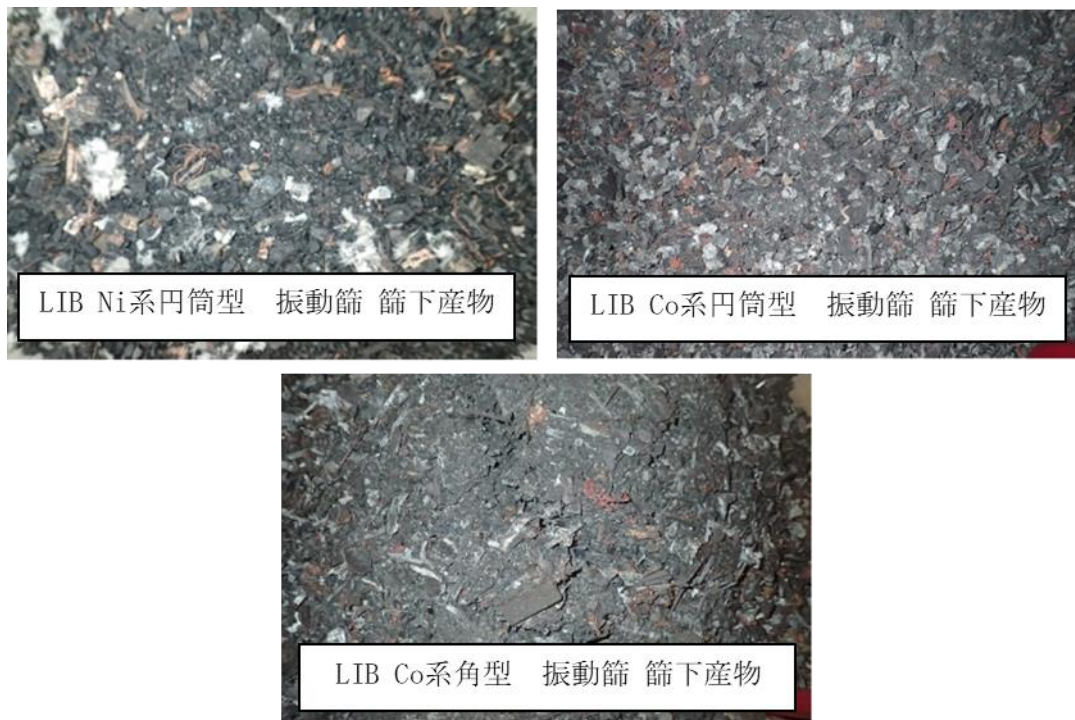


図 3.3.2-10 振動篩 篩下産物

③ Co、Ni 回収品位、回収率の確認

ハンマーシュレッダー破碎における活物質の単体分離性、及び選別精度を確認するため、ハンマーシュレッダー後の回収産物の各種金属成分を分析し、回収率を調査した。ハンマーシュレッダーにおける単体分離性は、ハンマーシュレッダー回転刃の周速が大きく寄与するため、回転刃インバーターの周波数を 45Hz～60Hz に振り、その影響を調査した。なお、本試験では、ハンマーシュレッダー破碎前での影響を排除し、以降の単体分離性、選別精度を把握するため、振動篩 篩上の重量分布を 100%として調査を行った。

図 3.3.2-11 に試験フロー、確認事項を示す。

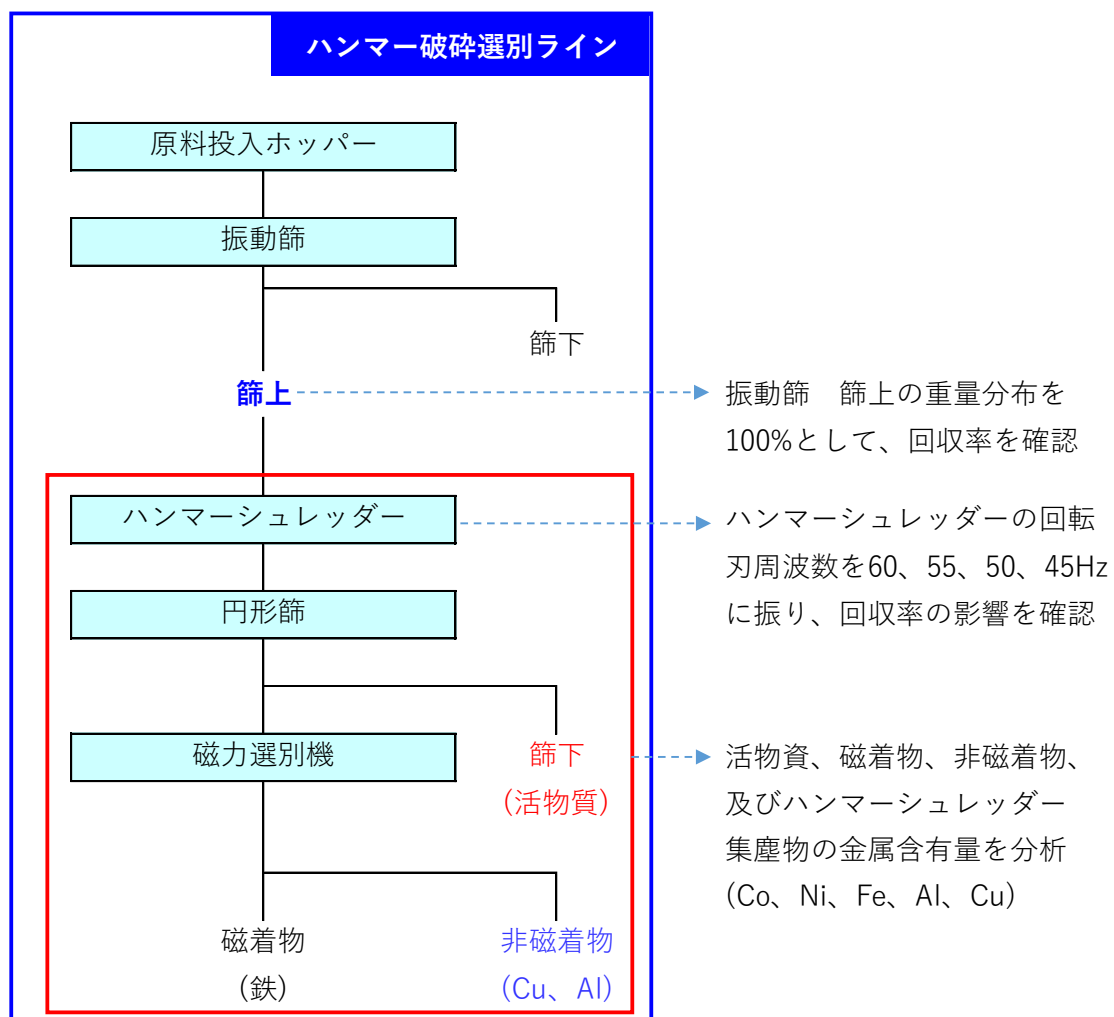


図 3.3.2-11 Co、Ni 回収品位、回収率確認試験

③-1 LIB Ni 系円筒型

LIB Ni 系円筒型における本試験の処理流量を表 3.3.2-6 に、各産物の重量分布、回収品位、回収率を表 3.3.2-7 に、各産物の写真を図 3.3.2-12～図 3.3.2-15 にそれぞれ示す。

表 3.3.2-6 LIB Ni 系円筒型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量

回転刃周波数	処理流量 kg/h
60Hz	414
55Hz	477
50Hz	380
45Hz	283

表 3.3.2-7 LIB Ni 系円筒型における各産物の重量分布、回収品位、回収率

破碎 周波数 (Hz)	産物名	重量		品位(%)					回収率(wt%)				
		(kg)	(wt%)	Co	Ni	Fe	Al	Cu	Co	Ni	Fe	Al	Cu
60	振動篩 篩上	85.5	100.0	4.0	13.4	17.0	5.4	20.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	44.5	53.9	6.6	19.0	0.6	7.4	1.8	86.1	73.9	1.9	70.8	4.7
	磁着物	18.0	19.4	0.1	13.4	78.7	0.3	5.8	0.5	21.1	97.3	1.2	6.0
	非磁着物	19.5	22.4	0.2	0.6	0.5	6.2	79.5	1.2	0.9	0.7	26.1	88.7
	集塵物	3.5	4.3	11.8	13.4	0.7	2.6	3.2	12.2	4.1	0.2	2.0	0.6
55	振動篩 篩上	85.5	100.0	3.6	12.3	16.8	5.4	21.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	42.5	51.5	5.7	19.0	0.6	7.8	1.9	78.4	76.6	1.7	71.9	4.4
	磁着物	18.0	19.4	<0.1	9.4	76.0	0.2	5.8	<0.1	16.0	95.5	0.6	5.8
	非磁着物	20.5	23.6	0.1	0.5	1.8	5.6	78.5	0.5	1.0	2.6	24.9	89.2
	集塵物	4.5	5.5	14.4	14.9	0.6	2.7	2.5	21.1	6.4	0.2	2.6	0.6
50	振動篩 篩上	88.5	100.0	3.8	11.9	15.4	5.3	22.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	41.5	48.5	5.6	19.4	0.6	7.6	1.9	68.7	76.6	1.8	67.4	3.9
	磁着物	17.5	18.1	<0.1	7.7	75.6	0.7	6.7	<0.1	12.7	97.0	2.7	6.0
	非磁着物	22.5	25.1	0.1	0.6	0.5	5.5	77.9	0.8	1.3	0.9	26.1	89.2
	集塵物	7.0	8.3	14.8	14.1	0.6	2.6	2.5	30.5	9.4	0.3	3.8	0.9
45	振動篩 篩上	84.5	100.0	3.9	13.6	13.7	5.9	23.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	37.0	45.4	5.6	21.4	0.6	7.1	2.0	61.9	68.9	1.8	52.3	3.8
	磁着物	17.0	18.4	0.1	11.0	66.1	1.6	12.0	0.4	16.3	96.7	5.4	10.5
	非磁着物	23.0	27.0	0.6	2.8	0.6	8.4	71.6	3.9	5.6	1.1	38.4	84.8
	集塵物	7.5	9.2	15.1	14.2	0.6	2.6	2.3	33.9	9.2	0.4	3.8	0.9

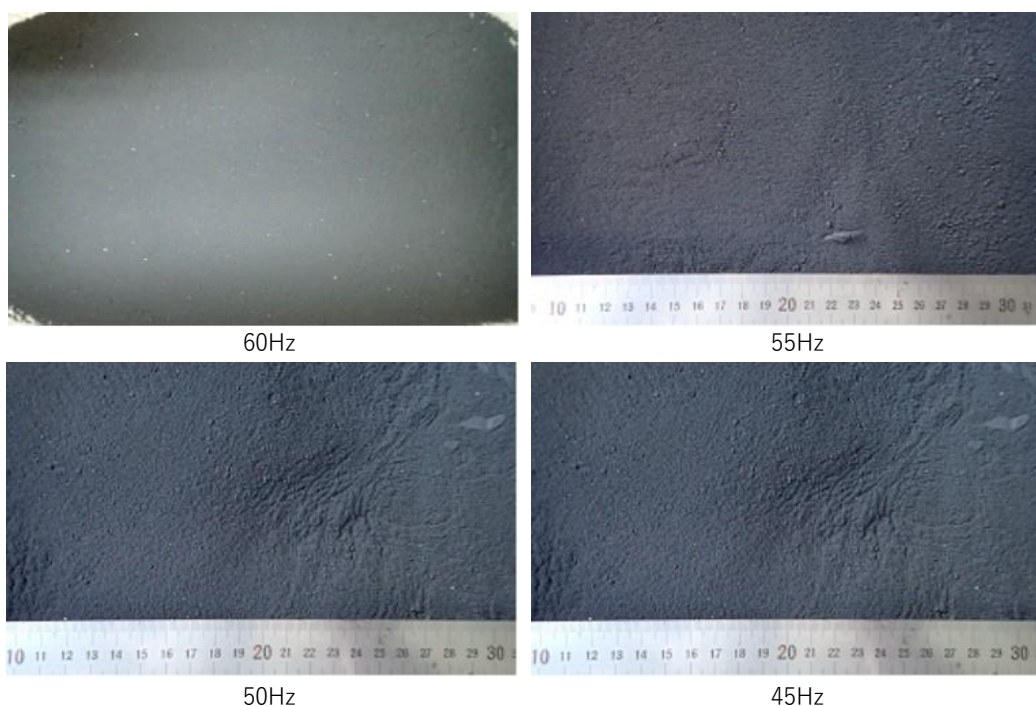


図 3.3.2-12 LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された活物質

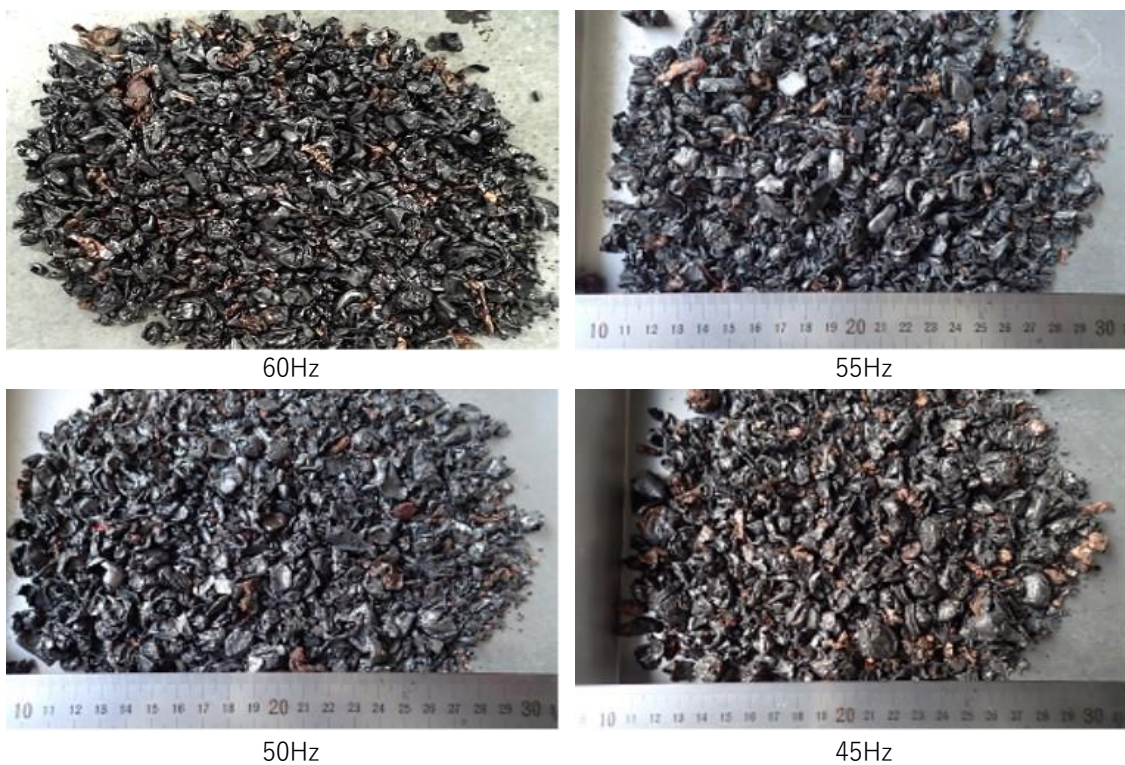


図 3.3.2-13 LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された磁着物

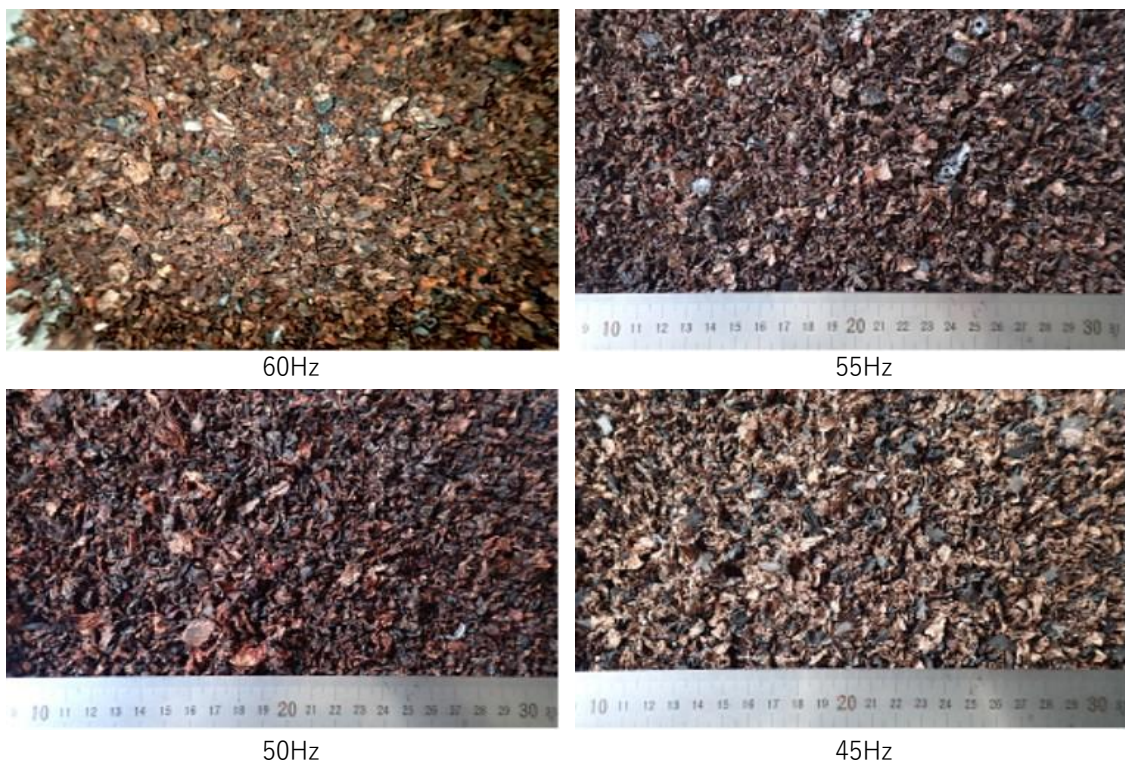


図 3.3.2-14 LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された非磁着物

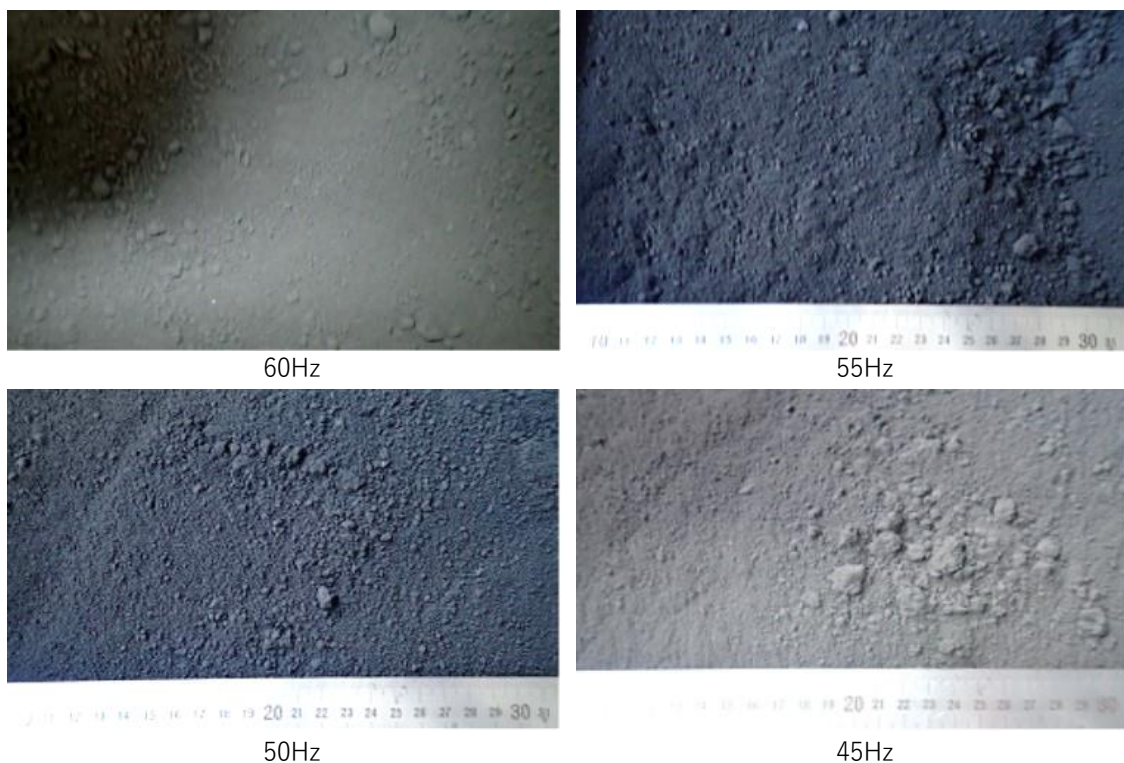


図 3.3.2-15 LIB Ni 系円筒型 各周波数にて回収された集塵物

重量分布において、ハンマーシュレッダー回転刃周波数を下げると、活物質は減少傾向となった。一方で、非磁着物、集塵物は増加傾向となった。

産物の品位と回収率においては、ハンマー回転刃周波数を下げると、活物質の Ni の品位は上昇傾向となった。また、Ni 回収率は、周波数 55～50Hz で最高となり、45Hz で大きく低下した。これは、ハンマーシュレッダーでの単体分離性が 45Hz で悪化したためと考えられる。

集塵物の Co、Ni 品位は、各周波数ともに 10%以上と活物質の品位に近い値となっており、Al や Cu の逃避もないことから、集塵物は活物質に混ぜて回収しても問題ないものと考えられる。その場合、周波数 50Hz において Co 回収率は 99.2%となり、Ni 回収率は 86.0%となる。一方で、活物質中への Cu、Al の混入率を見た場合、Cu は目標混入率 10%をクリアーしているが、Al が 50Hz で 67.4%と高い値を示している。これは、ハンマーシュレッダー破碎での過粉碎の影響ではなく、熱分解時に Al が脆化したことが原因と考えられる。LIB の中でも、特に Ni 系は、過去の経験より熱分解時に激しく発熱反応を示すことが確認されており、その影響で Al が脆化した可能性が高い。脆化した場合、ハンマーシュレッダー破碎で微粉化する為、後の篩分けで回収できず、活物質に混入してしまう。よって、活物質中への Al の混入を低減させるには、熱分解の温度条件を見直す必要がある。

③-2 LIB Co 系円筒型

LIB Co 系円筒型における本試験の処理流量を表 3.3.2-8 に、各産物の重量分布、回収品位、回収率を表 3.3.2-9 に、各産物の写真を図 3.3.2-16～図 3.3.2-19 に示す。

表 3.3.2-8 LIB Co 系円筒型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量

回転刃周波数	処理流量 kg/h
60Hz	508
55Hz	457
50Hz	470
45Hz	461

表 3.3.2-9 LIB Co 系円筒型における各産物の重量分布、回収品位、回収率

破碎 周波数 (Hz)	産物名	重量		品位(%)					回収率(wt%)				
		(kg)	(wt%)	Co	Ni	Fe	Al	Cu	Co	Ni	Fe	Al	Cu
60	振動篩 篩上	89.5	100.0	12.7	13.8	16.3	5.8	10.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	48.5	54.2	19.1	19.3	0.7	2.0	0.5	81.7	75.7	2.5	18.6	2.7
	磁着物	18.5	20.7	0.6	10.1	76.2	1.6	1.3	1.0	15.1	96.7	5.5	2.5
	非磁着物	19.5	21.8	7.9	4.2	0.5	19.9	44.1	13.6	6.7	0.6	74.6	94.1
	集塵物	3.0	3.3	13.9	10.2	0.9	2.0	2.1	3.7	2.5	0.2	1.2	0.7
55	振動篩 篩上	90.0	100.0	12.7	9.1	16.6	5.9	13.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	47.5	54.0	20.1	10.8	0.5	2.0	0.6	83.6	62.7	1.7	17.9	2.4
	磁着物	19.0	19.3	0.1	11.2	76.8	2.3	1.1	0.0	25.9	97.6	8.3	1.8
	非磁着物	20.5	23.3	4.3	2.5	0.4	18.9	54.7	13.1	6.2	0.5	72.5	95.3
	集塵物	3.0	3.4	12.9	14.3	0.9	2.3	1.9	3.4	5.2	0.2	1.3	0.5
50	振動篩 篩上	86.0	100.0	13.9	6.9	16.5	5.5	12.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	44.5	53.6	22.8	6.5	0.5	1.6	0.9	85.0	48.8	1.4	15.1	3.6
	磁着物	19.5	21.1	1.2	12.0	71.7	0.9	3.7	0.0	39.3	98.2	3.6	6.7
	非磁着物	19.5	22.3	7.3	2.0	0.1	19.4	49.1	12.0	6.6	0.2	80.3	89.3
	集塵物	2.5	3.0	14.6	12.7	0.8	2.0	1.7	3.1	5.3	0.1	1.0	0.4
45	振動篩 篩上	82.5	100.0	15.2	6.1	18.1	5.3	10.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	41.5	52.2	24.2	5.2	0.4	1.5	0.8	80.1	42.5	1.1	14.2	3.6
	磁着物	19.5	22.0	1.4	10.9	75.4	1.0	1.5	2.1	41.9	98.4	4.5	3.2
	非磁着物	18.5	22.0	9.7	2.1	0.2	18.7	45.2	14.3	7.8	0.3	79.9	92.7
	集塵物	3.0	3.8	14.6	13.1	0.8	1.9	1.5	3.5	7.8	0.2	1.3	0.5

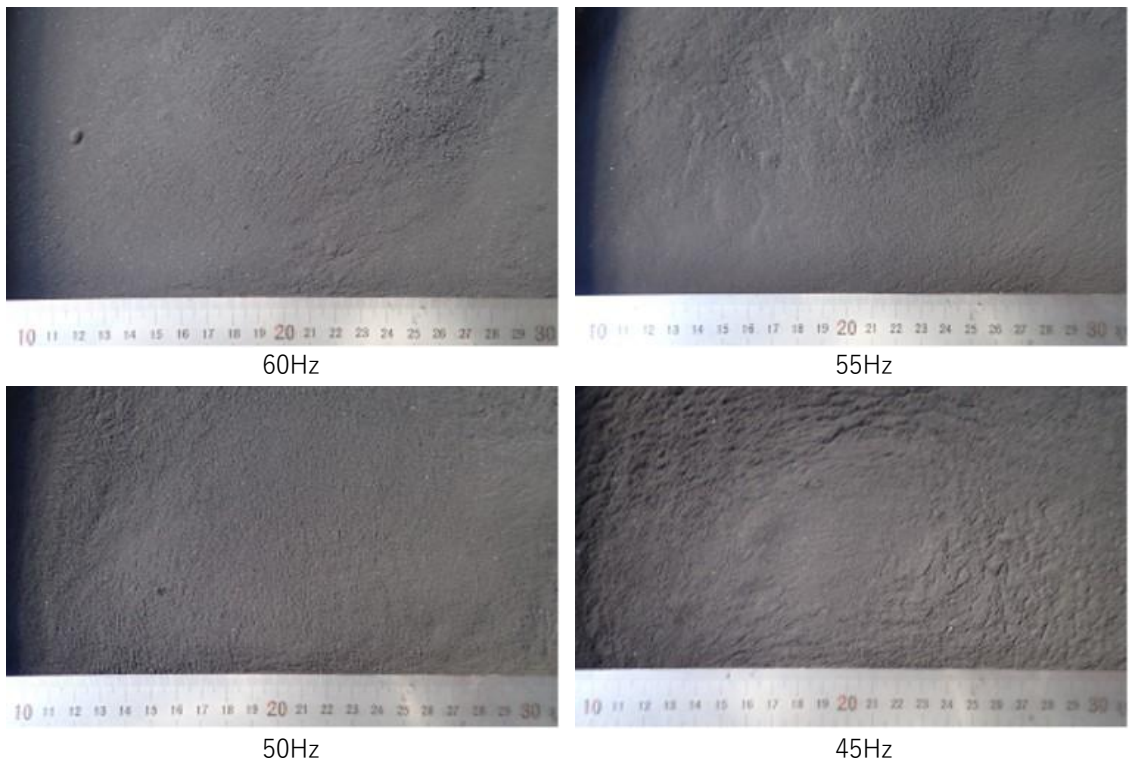


図 3.3.2-16 LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された活物質

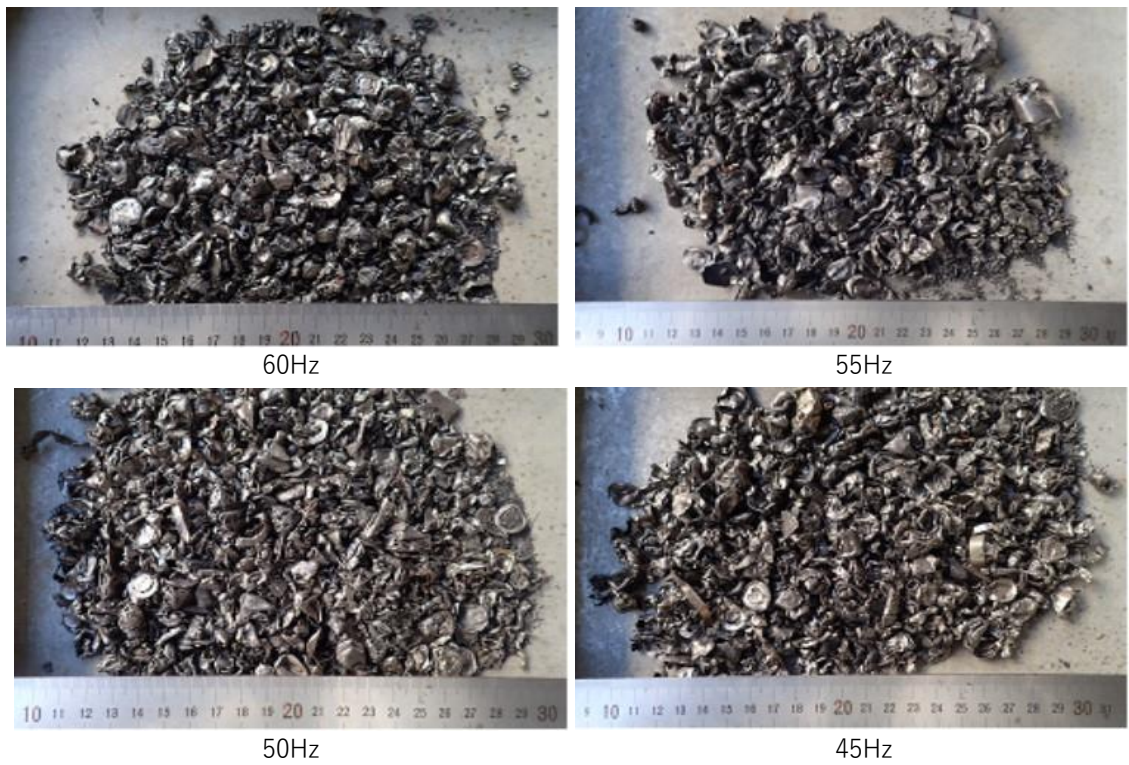


図 3.3.2-17 LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された磁着物

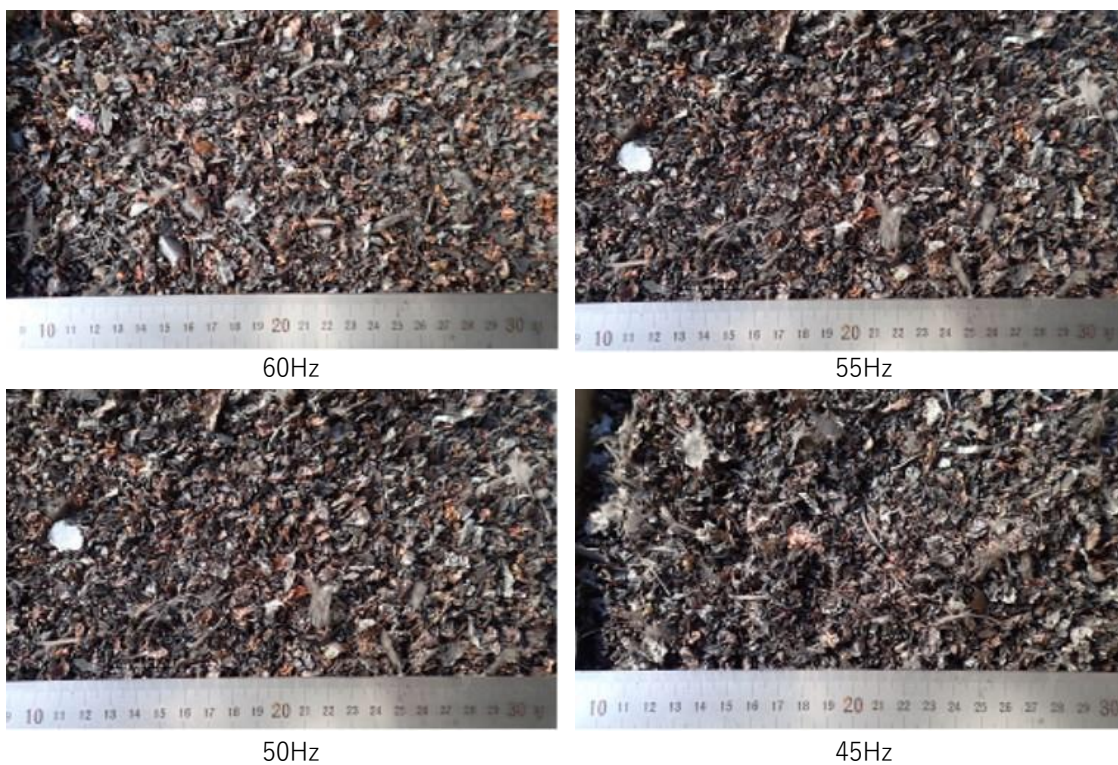


図 3.3.2-18 LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された非磁着物

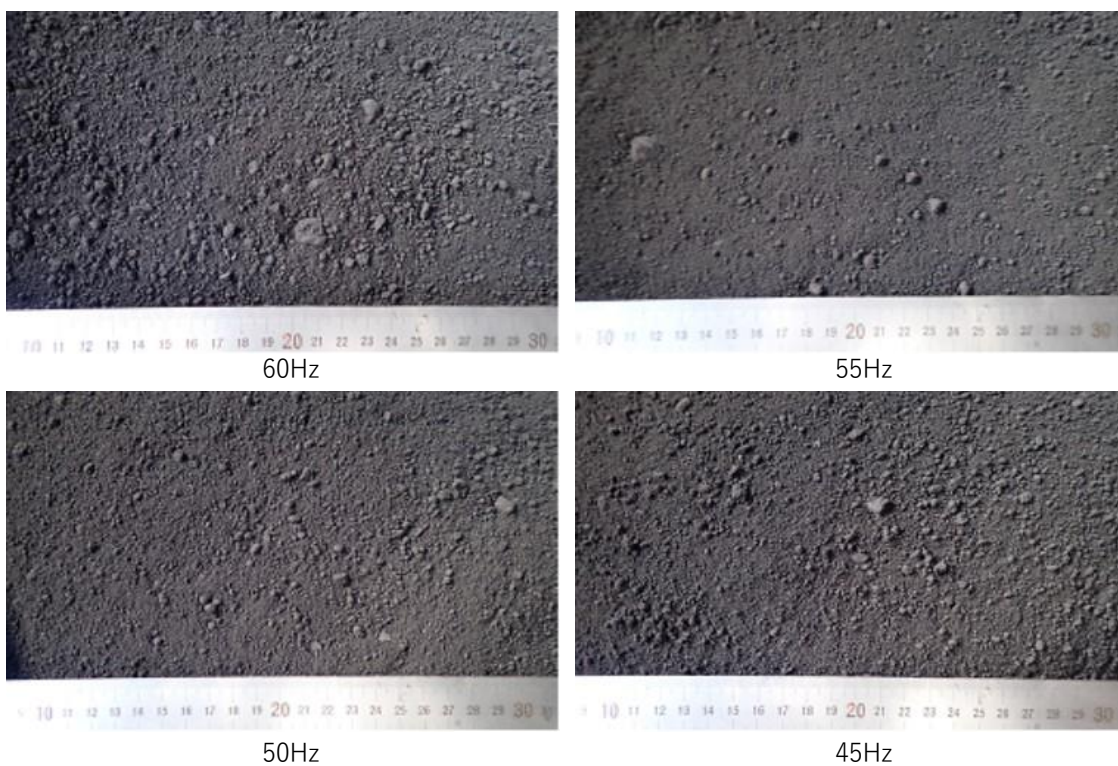


図 3.3.2-19 LIB Co 系円筒型 各周波数にて回収された集塵物

重量分布において、ハンマーシュレッダー回転刃周波数を下げると、活物質、非磁着物は減少傾向となった。

産物の品位と回収率においては、ハンマー回転刃周波数を下げると、活物質の Co の品位は上昇傾向となった。また、Co 回収率は、周波数 50Hz で最高となり、45Hz で大きく低下した。LIB Ni 系円筒型と同様、ハンマーシュレッダーでの単体分離性が 45Hz で悪化したためと考えられる。一方で、Ni 品位、Ni 回収率は 60Hz で最高となっており、ハンマーシュレッダー回転刃周波数を下げると減少傾向がみられた。Cu、Al の混入率は、Cu においては全周波数で 10%以下を達成しているが、Al が 14.2～18.6%となった。Al の混入率も含め、まだ目標値に達成していない為、熱分解時の温度条件と併せ、LIB Co 系円筒型の最善な処理方法を今後も検討する。

③-3 LIB Co 系角型

LIB Co 系角型における本試験の処理流量を表 3.3.2-10 に、各産物の重量分布、回収品位、回収率を表 3.3.2-11 に、各産物の写真を図 3.3.2-20～図 3.3.2-23 に示す。

表 3.3.2-10 LIB Co 系角型 各ハンマーシュレッダー回転刃周波数における処理流量

回転刃周波数	処理流量 kg/h
60Hz	312
55Hz	315
50Hz	306
45Hz	302

表 3.3.2-11 LIB Co 系角型における各産物の重量分布、回収品位、回収率

破碎 周波数 (Hz)	産物名	重量		品位(%)					回収率(wt%)				
		(kg)	(wt%)	Co	Ni	Fe	Al	Cu	Co	Ni	Fe	Al	Cu
60	振動篩 篩上	84.5	100.0	16.7	10.0	2.1	20.8	9.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	44.0	53.3	26.9	11.2	0.3	1.6	0.6	83.9	58.5	6.9	3.9	3.4
	磁着物	6.5	7.9	6.7	38.4	19.9	17.2	2.8	3.1	29.6	72.7	6.4	2.3
	非磁着物	28.5	32.1	2.3	2.4	1.2	55.2	26.8	4.6	8.1	19.0	89.3	93.4
	集塵物	5.5	6.7	21.4	5.8	0.5	1.4	1.3	8.3	3.8	1.4	0.4	0.9
55	振動篩 篩上	85.0	100.0	20.6	5.6	1.4	17.6	10.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	43.5	52.4	31.1	4.5	0.1	1.2	0.5	77.4	41.2	3.6	3.4	2.5
	磁着物	6.0	7.2	10.0	31.2	12.8	23.5	6.0	3.4	39.5	64.2	9.4	4.2
	非磁着物	29.5	33.1	7.2	2.0	1.2	43.9	26.9	12.1	12.2	29.7	86.5	92.4
	集塵物	6.0	7.3	20.8	5.7	0.5	1.4	1.4	7.1	7.2	2.5	0.6	0.9
50	振動篩 篩上	88.5	100.0	21.9	4.7	1.2	13.2	13.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	47.5	54.9	32.1	3.3	0.1	1.1	0.5	78.5	38.4	2.8	4.4	1.8
	磁着物	4.5	5.2	1.3	46.4	17.5	15.3	12.4	0.3	50.6	76.4	5.9	4.7
	非磁着物	31.5	34.1	9.3	0.7	0.6	33.0	35.2	15.1	5.6	19.6	89.2	93.0
	集塵物	5.0	5.8	23.6	4.4	0.3	1.2	1.1	6.1	5.4	1.3	0.5	0.5
45	振動篩 篩上	91.0	100.0	21.9	4.8	1.4	11.7	14.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	活物質	48.0	53.9	32.8	2.4	0.1	1.1	0.4	78.9	26.5	2.7	5.0	1.3
	磁着物	5.5	6.2	0.7	47.9	19.4	13.6	11.9	0.2	60.4	85.3	7.0	4.9
	非磁着物	31.5	33.1	9.1	0.8	0.4	29.4	39.7	14.4	5.9	9.8	87.2	93.2
	集塵物	6.0	6.8	21.6	5.2	0.5	1.4	1.3	6.5	7.1	2.2	0.8	0.6



60Hz



55Hz



50Hz



45Hz

図 3.3.2-20 LIB Co 系角型 各周波数にて回収された活物質



60Hz



55Hz



50Hz



45Hz

図 3.3.2-21 LIB Co 系角型 各周波数にて回収された集塵物



図 3.3.2-22 LIB Co 系角型 各周波数にて回収された非磁着物



図 3.3.2-23 LIB Co 系角型 各周波数にて回収された集塵物

重量分布において、ハンマーシュレッダー回転刃周波数を下げると、活物質は 50Hz まで減少し、45Hz で上昇した。その他の産物に際立った傾向は無かった。

産物の品位と回収率においては、ハンマー回転刃周波数を下げると、活物質の Co の品位は上昇傾向となった。しかし、Co 回収率は、周波数 60Hz で最高となった。活物質における Co 回収率は、集塵物を活物質と混合することを想定した場合、60Hz で 92.2%となり、目標値を達成している。また、Cu、Al の混入率は、Cu、Al とともに全周波数で 10%以下を達成した。

Ni 回収率においては、全周波数で目標値 90%以下となった。この原因は現段階で不明ではあるが、次年度再試験を行い、再度調査を行うこととする。

(3) 今後の課題

1) 小型家電 LIB Ni 系円筒型 熱分解物による破碎、選別条件検討

本年度の試験にて、小型家電用 LIB Ni 系 円筒型の熱分解挙動を確認したが、熱分解産物に一部正極材 (A1) の脆化が確認された。この A1 の脆化により、破碎、選別時に A1 が微粉化し、回収される活物質中の混入していることが分かった。

今後は、熱分解時の熱分解温度条件の調整により、脆化を防ぐことが可能か検討するとともに、破碎、選別における活物質中への A1 の混入率を確認する。

2) FIT3 及び LEAF モジュールを用いた一貫処理におけるマテリアルバランスの確認

FIT3 及び LEAF モジュールを用いた熱分解から破碎、選別、活物質回収までの一貫処理試験を実施し、回収される活物質の Co、Ni 品位と回収率、Cu、Al の混入率を確認する。

3. 4 Co、Ni の回収に関する検討

熱分解、破碎・選別後の活物質からの Co 及び Ni の回収は、湿式法にて実施した。なお、本検討以前の Co、Ni を湿式回収プロセス¹⁾は、酸浸出・粗精製液工程における Co、Ni の回収率が約 60%であり、また、回収した Co 液、Ni 液の純度はそれぞれ 99.9%未満であり、回収率の向上、不純物除去が課題であった。本事業では、酸浸出・粗精製液工程を見直し、溶媒抽出操作を変更したプロセスを検討し、Co、Ni を高効率、高純度で回収するための実証を行った。

3. 4. 1 湿式回収プロセスと設備

FIT3 搭載 LIB から回収した活物質を対象に、Co、Ni を高効率、高純度で湿式回収する実証試験を行った。

(1) 回収プロセス

活物質からの Co 及び Ni の湿式回収の流れ(図 3.4.1-1) は以下の通りである。

- 活物質を酸浸出した後、Cu の沈殿除去(脱 Cu)を行い、Cu、負極材を中心とした沈殿物(未溶解残渣①)を固液分離する。
- 液相の酸浸出液①を pH 及び ORP 調整し、固液分離を行い、沈殿物として Co/Ni 中間体を回収する。
- Co/Ni 中間体を酸浸出(再浸出)して、沈殿物(未溶解残渣②)の固液分離を行い、液相側として、粗精製液を回収する。
- 回収した粗精製液をミキサセトラ装置にて、溶媒抽出により分離精製することで、純度 99.9%以上の Co 精製液、Ni 精製液を回収する。
- 回収した Co 精製液ならびに Ni 精製液を晶析により、高純度 Co 塩ならびに高純度 Ni 塩を回収する。

¹⁾ 特開 2021-134402 コバルトおよびニッケルの回収方法

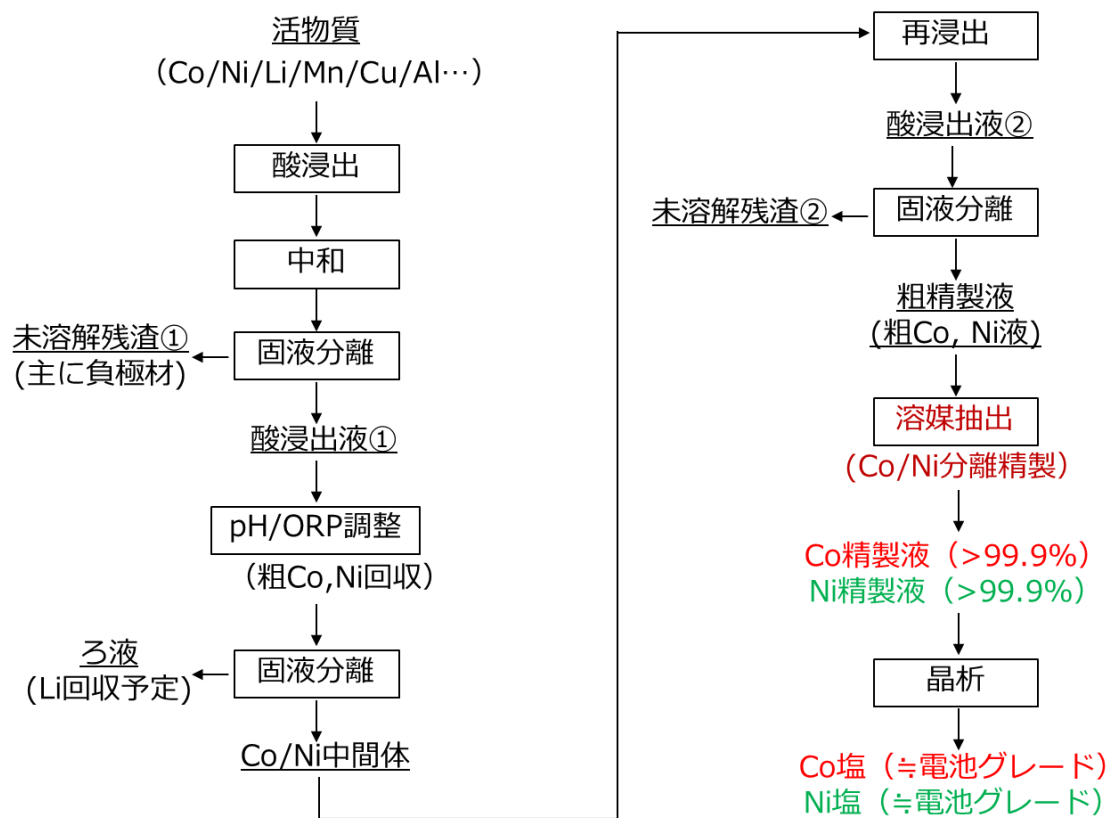


図 3. 4. 1-1 湿式回収プロセス

(2) 湿式回収実証試験設備

Co 及び Ni の湿式回収は、日本磁力選鉱ひびき工場(福岡県北九州市若松区響町)敷地内に設置した湿式回収実証試験設備(図 3.4.1-2)で実施した。

湿式回収実証試験設備は、活物質からの浸出等を行う槽、固液分離装置ならびに溶媒抽出装置(ミキサセトラ)、晶析装置から構成される。

なお、本実証試験設備における Co 及び Ni の回収能力は、Co、Ni 合わせて金属重量換算で 2t/year 程度である。



図 3.4.1-2 湿式回収実証試験設備の外観

3. 4. 2 Co、Ni の回収能力の検証

本年度の実証試験より、改善前のプロセスよりも Co、Ni の回収率及び純度が向上した。本項目ではその詳細について記載する。

(1) 本年度の成果

前述の 3. 4. 1 項に示した湿式処理プロセスを用いた湿式回収実証試験設備による、活物質から Co、Ni 回収率及び回収物の純度を以下に示す。活物質中の構成物質としては Co、Ni、Li の他に C、Mn、Cu、Al 等が含まれている。これらの金属等を除去し Co、Ni を回収した結果、本年度の実証試験では、粗製精液の状態での回収率は Co、Ni のいずれも約 80% (活物質中の Co、Ni 全量を 100%とした場合) となり、プロセス改善前の回収率(約 60%) に比べて大幅に回収率が向上した。また、ミキサセトラでの溶媒抽出により Co 精製液、Ni 精製液のいずれも、99. 9%以上の純度で回収できた。プロセス改善前の Co 精製液、Ni 精製液の純度はそれぞれ 99. 9%未満であったため、いずれも高純度化に成功したことになる。その後の晶析により回収した CoSO_4 、 NiSO_4 水和物結晶の写真を、図 3. 4. 2-1 ならびに図 3. 4. 2-2 にそれぞれ示す。



図 3. 4. 2-1 回収した CoSO_4 水和物結晶

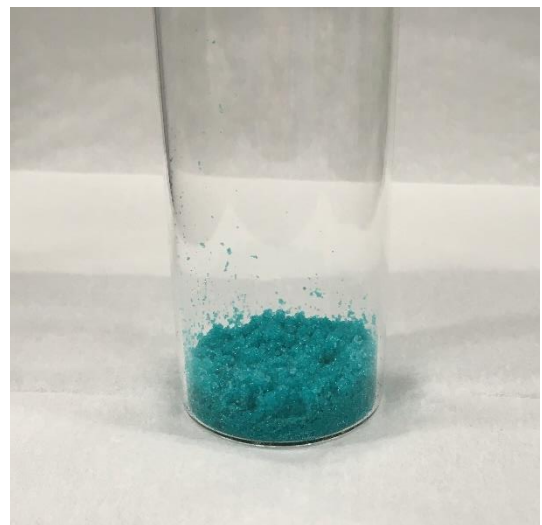


図 3. 4. 2-2 回収した NiSO_4 水和物結晶

(2) 今後の課題

今後の湿式回収プロセスにおける課題点としては以下が挙げられる。

- 1) Co、Ni 結晶のさらなる純度向上及び回収率向上(プロセス上の課題)
- 2) LEAF-LIB を用いた Co、Ni 回収試験の実施(多様な活物質への対応に対する課題)

4. 事業における環境改善効果、CO₂排出量削減の評価

4. 1 評価シナリオの確認

CO₂排出量の削減効果を検討するために、本事業ではライフサイクルアセスメント(LCA)を用いる。LCAでの評価を行うにあたり、昨年度にはシステム境界と機能単位を設定し、またベネフィットを統一したケース設定を行った。

図4.1-1にシステム境界図を示す。本事業のプロセスから生み出すベネフィットは、まず、リユースされるLIBと、リユース不可能なLIBの処理・処分である。さらに放電工程において回収される回生電力がある。また金属資源回収については、図4.1-1に示すとおり、現行の廃LIB処理プロセスでは再生工程において、電炉方式ではFeを、焼却炉方式ではFeに加えCu、Alをリサイクルする。それに対して、本事業のプロセスでは、破碎選別工程においてFe、Cu、Alを、選別後の活物質から湿式回収によってCo、Niを回収する。

本事業プロセスから生み出されるベネフィットと現行の廃LIB処理プロセスから生み出されるベネフィットを同値とすることで、公平な比較となる。そのため、現行プロセスには、①リユースLIBに相当するLIBを新規製造する工程、②回生電力分を発電する工程、③Co、Niを新規製造する工程を加えている。

本年度に各工程の評価に着手するにあたり、シナリオの見直しについての確認を行ったが、本事業プロセス及び現行の廃LIB処理プロセスの想定や、各工程において生み出されるベネフィットの想定に変更がないことから、本年度も引き続き、図4.1-1のシナリオに沿って評価を行うこととした。

なお、本事業で想定される九州全域からのLIB広域回収方法についても検討を行うため、昨年度までにELV(使用済自動車)の発生からLIB取り出しまでの工程を図4.1-2に示すように2つのケースに分けたシナリオを作成した。本年度はこれに沿って、九州全域で排出されたELVをそのまま北九州市まで運搬し、北九州市にてLIB取り出しを行うケースと、北九州近郊を除く九州全域でLIBの取り出しを行い、LIBの形態で北九州市まで運搬するケースについて、輸送時に発生するCO₂排出量の評価を行った。

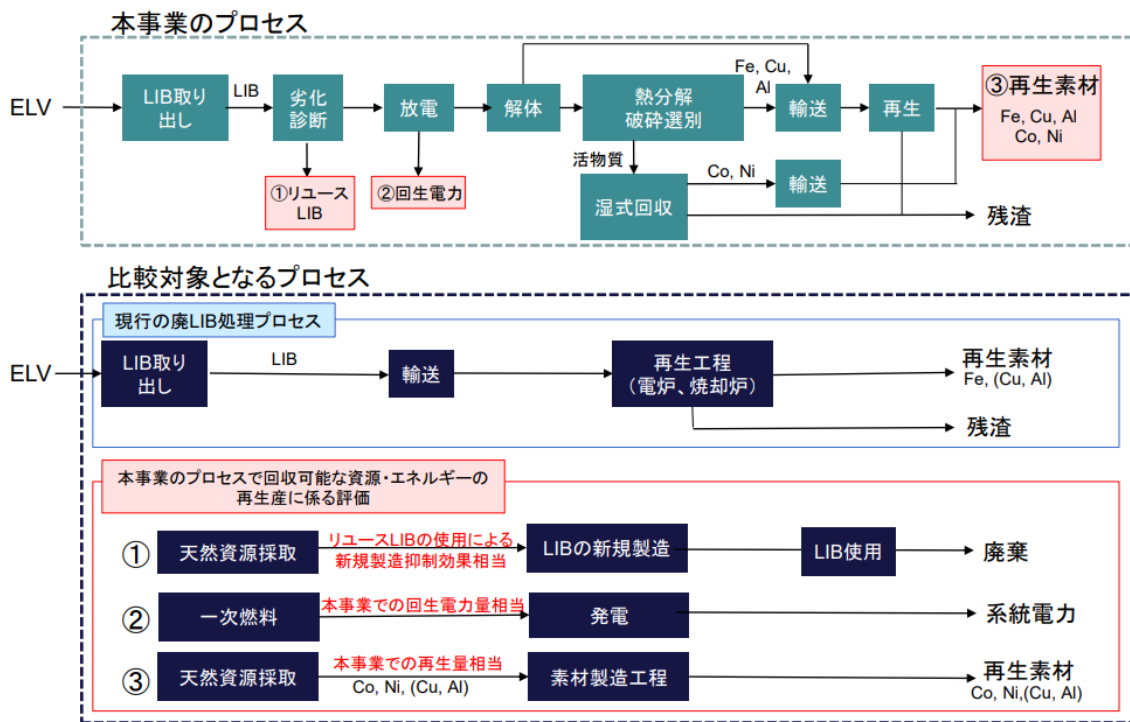


図 4. 1-1 システム境界図

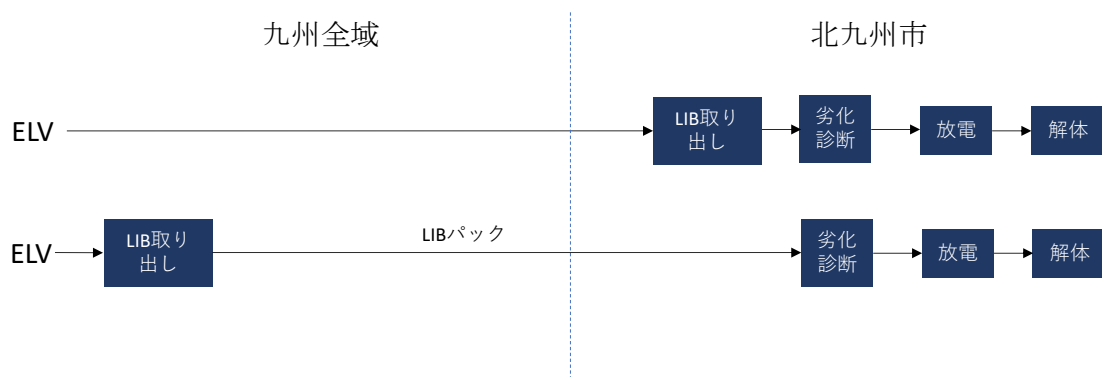


図 4. 1-2 LIB 回収ケースの設定

4. 2 本事業のプロセスの評価のためのデータ採取

本年度は、LIB 取り出し工程の実証試験において、データ採取し、CO₂排出量の試算を行った。

4. 2. 1 評価のための条件設定

LEAF 及び FIT3 に搭載されている LIB について、前工程の作業場に置かれている状態を起点として、廃車を移動し装置を用いて LIB を取り出し、次工程に向けた保管ヤードへ送るまでの所要時間や消費エネルギーについてのデータを測定することとした。

なおエネルギー消費量としては、車体移動に使用するフォークリフトの軽油使用量、エアーコンプレッサー (LEAF 傾転装置付帯のロボット並びに FIT3 助力装置にエアーを供給) の電気使用量、及び LEAF 傾転装置の電気使用量について測定することとした。

4. 2. 2 評価のためのデータ採取

(1) LEAF からの LIB 取り出しに関するデータ採取

令和 3 年 10 月 14 日に、LEAF からの LIB 取り出しに関する実証試験を実施し、評価のために必要な各種データを測定した。

1) 作業時間の測定

LIB 取り出しに掛かる作業時間として、今回の実証試験では、車両を傾転装置に設置する工程から、LIB 取り出しを作業完了するまでの時間を計測した。

結果、傾転装置を利用した一人作業での LEAF からの LIB 取り出し作業時間は 29 分 16 秒/台であった。次年度、作業時間の内訳を調査して、作業最適化を図る。

2) 電力使用量の測定

傾転装置とロボットの電力使用量は、主操作盤に電力計を設置して測定した。また、ロボットのねじ外し機構はエアーで作動するため、助力装置の際と同様に、エアーコンプレッサーの作動電力量を LIB 取り出しに要した電力使用量として加算した。測定結果を表 4.2.2-1 に示す。

表 4. 2. 2-1 LEAF からの LIB 取り出しに係る消費電力測定結果

装置		電気使用量
電気駆動系	傾転装置	0.118 kWh/台
	ロボット	0.065 kWh/台
高圧エア作動系	・ロボットのねじ外し機構はエア作動 ・エアはコンプレッサーから供給	0.015 kWh/台
合計		0.198 kWh/台

3) 軽油使用量の測定結果

フォークリフトの軽油使用量についても、FIT3 からの LIB 取り出しと同様、フォークリフトの時間燃費(2.42L/h、設備管理者による実測値)と LIB 取り出し作業での稼働時間を乗算して軽油使用量を算出した。LEAF からの LIB 取り出しに係るフォークリフト稼働時間は、8 分 6 秒/台(486 秒/台)であった。

以上より、LEAF からの LIB 取り出しにおける軽油の使用量は $2.42 \div 3,600 \times 486 = 0.327\text{L/台}$ であった。

(2) FIT3 からの LIB 取り出しに関するデータ採取

令和 3 年 7 月 26 日に、FIT3 からの LIB 取り出しに関する実証試験を実施し、評価のために必要な各種データを測定した。

1) 作業時間の測定

LIB 取り出しに掛かる作業時間として、今回の実証試験では、車両を分解場所に設置した状態から、LIB 取り出しを開始し、作業完了するまでの時間を計測した。

結果、助力装置を利用した一人作業での FIT3 からの LIB 取り出し作業時間は 10 分 5 秒/台であった。次年度、前工程からの車両移動、取り出し後の車両移動を含めて、作業時間の内訳を調査し、作業最適化を図る。

2) 電力使用量の測定

助力装置はエアで作動する。コンプレッサーが大気を圧縮し、高圧となったエアがレシーバータンクに貯蔵され、助力装置作動の際に供給される。助力装置を作動させることにより低下したエア圧を補充するためコンプレッサーが随時作動し、その際に電力が消費される。

今回の実証試験では、助力装置作動に伴ってエアコンプレッサーで消費された電力使用量の測定を行った。なお、1 回の取り出し作業ではエア使用量が少なく補充動作に至らなかったため、LIB 取り出し作業前後のレシーバータンクの圧力変動を測定し、コンプレッサーの作動電力量と補充エア量から 1 回の LIB 取り出し作業に要する電

力使用量を算定した。測定結果を表 4.2.2-2 に示す。

測定結果より、コンプレッサーの圧力補充に係る電力使用量は、0.16MPa のエアータンクあたり 0.015kWh となった。また、1 回の LIB 取り出しに使用するエアータンク圧力変動は 0.12MPa であったが、圧力リーク分を考慮し、コンプレッサーの圧力補充 1 回分 (0.16MPa) に相当すると仮定して、FIT3 からの LIB 取り出しに要する電力使用量は、0.015kWh/台となった。

表 4.2.2-2 FIT3 からの LIB 取り出し時のコンプレッサー圧力変動と消費電力測定結果

データ採取項目		測定結果
・コンプレッサー作動圧力	ON	0.77MPa
	OFF	0.93MPa
		$\Delta P = 0.16\text{MPa}$
・コンプレッサーON/OFF の 1 サイクルロードの電気使用量		0.015kWh
・助力装置作動の圧力低下	待機位置から LIB 取り出し位置への移動	-0.05MPa
	LIB 取り出し搬送	-0.03MPa
	LIB 荷卸し位置から待機位置への移動	-0.04MPa
		$\Delta P = -0.12\text{MPa}$

3) 軽油使用量の測定結果

フォークリフトの軽油使用量については、使用量が少量で直接測定が困難であったことから、フォークリフトの時間燃費 (2.42L/h、設備管理者による実測値) と LIB 取り出し作業での稼働時間を乗算して軽油使用量を算出した。FIT3 からの LIB 取り出しに係るフォークリフトの稼働時間は、5 分 26 秒/台 (326 秒/台) であった。

以上より、FIT3 からの LIB 取り出しにおける軽油の使用量は $2.42 \div 3,600 \times 326 = 0.22\text{L/台}$ であった。

4. 3 LIB 取り出し時の CO₂ 排出量の評価

FIT3 と LEAF の LIB 取り出し実証試験のデータをもとに CO₂ 排出量を求めた。FIT3 は 2021 年 7 月 26 日、LEAF は 2021 年 10 月 14 日に西日本オートリサイクルにて LIB 取り出し実証試験を行った。

4. 3. 1 LIB 取り出し実証試験データの整理

FIT3 の LIB 取り出し工程においては助力装置を用いた一人作業で行い、その際に助力装置作動コンプレッサーと、車体や LIB を持ち運ぶフォークリフトを使用した。実証試験データより、FIT3 からの LIB 取り出しに使用した助力装置作動コンプレッサーの電力使用量は 0.015kWh/台であり、フォークリフトの軽油使用量は 0.22L/台であった。

LEAF の LIB 取り出し工程においては FIT3 同様、ロボットのねじ取り外し装置作動用エアーコンプレッサーとフォークリフトに加え、作業性向上のため、車両傾転装置と LIB 締結ねじ取り外しロボットを用いた。実証試験データより、車両傾転装置、ロボットの電力使用量はそれぞれ 0.118kWh/台、0.065kWh/台であった。また、ロボットのねじ取り外し装置作動用エアーコンプレッサーの電力使用量は 0.015kWh/台であり、フォークリフトの軽油使用量は 0.327L/台であった。

4. 3. 2 計算条件

電力消費に伴う CO₂ 排出量は 2020 年度九州電力の小売電気事業者の供給に係る電気の CO₂ 排出係数 (0.479kg-CO₂/kWh)²⁾ を用いた。また、軽油使用に伴う CO₂ 排出量はインベントリーデータベース IDEA による軽油製造の CO₂ 排出係数 (0.27kg-CO₂/L) と環境省データ³⁾ による軽油 CO₂ 排出係数 (2.619kg-CO₂/L) を足した数値 (2.889kg-CO₂/L) を用いた。

4. 3. 3 算定結果

以上の条件から FIT3 と LEAF の LIB 取り出し工程における CO₂ 排出量を計算した。表 4.3.3-1、表 4.3.3-2 に算定結果を示す。

LIB 取り出しの CO₂ 排出量は FIT3 で 0.640kg-CO₂/台、LEAF で 1.038kg-CO₂/台となった。

2) 九州電力 http://www.kyuden.co.jp/environment_notice02.html

3) 中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会 グリーン税制とその経済分析等に関する専門委員会 (H20) 第 4 回専門委員会 資料 4 燃料別の二酸化炭素排出量の例

表 4. 3. 3-1 FIT3 の LIB 取り出し工程に伴う CO₂ 排出量

FIT3 取り出し工程	時間当たりの使用量		時間		活動量		CO ₂ 排出係数		CO ₂ 排出量	
	数値	単位	数値	単位	数値	単位	数値	単位	数値	単位
助力装置 コンプレッサー	1.86	kWh	29	s	0.015	kWh	0.479	kg-CO ₂ /kWh	0.00718	kg-CO ₂
フォークリフト	2.42	L/h	326	s	0.22	L	2.889	kg-CO ₂ /L	0.633	kg-CO ₂
合計									0.640	kg-CO ₂

表 4. 3. 3-2 LEAF の LIB 取り出し工程に伴う CO₂ 排出量

LEAF 取り出し工程	時間当たりの使用量		時間		活動量		CO ₂ 排出係数		CO ₂ 排出量	
	数値	単位	数値	単位	数値	単位	数値	単位	数値	単位
車両傾転装置	0.91	kWh	465	s	0.118	kWh	0.479	kg-CO ₂ /kWh	0.0563	kg-CO ₂
ロボット	0.9	kWh	260	s	0.065	kWh	0.479	kg-CO ₂ /kWh	0.031	kg-CO ₂
ねじ取り外し装置 コンプレッサー	1.86	kWh	29	s	0.015	kWh	0.479	kg-CO ₂ /kWh	0.0072	kg-CO ₂
フォークリフト	2.42	L/h	486	s	0.3267	L	2.889	kg-CO ₂ /L	0.944	kg-CO ₂
合計									1.038	kg-CO ₂

4. 4 LIB 輸送時の CO₂ 排出量の評価

LIB を九州地域の各県で取り出し北九州エコタウンまで輸送する方法と、ELV を直接北九州エコタウンまで輸送し LIB 取り出しを行う方法の 2 パターンの輸送に伴う CO₂ 排出量を比較した。

LIB を各地域で取り出し北九州エコタウンまで輸送する方法において、北九州地域で回収した ELV は LIB を取り出さず、ELV のまま輸送する。

4. 4. 1 輸送形態

(1) トラック種類(最大積載量)を限定しない推計

輸送に用いるトラックの仕様⁴⁾を表 4. 4. 1-1 に示す。ELV では 1～3t トラックは用いない。LIB はパレットに乗せて 1 層(平積み)で輸送し、LEAF の LIB には寸法 1, 200mm×1, 600mm、重量 41kg⁵⁾、FIT3 の LIB には寸法 1, 100mm×1, 100mm、重量 8. 5kg⁶⁾、のパレットを採用し、それぞれの LIB の寸法から 1 パレットに対し LEAF の LIB は 1 個、FIT3 の LIB は 2 個積載できると仮定した。

表 4. 4. 1-1 トラックの仕様

分類	重量(t)		寸法(L×W) mm	
	トラック重量(t)	最大積載量(t)	トラック	荷台
大型トラック	10	6.5～13.0	12000×2500	9500×2500
中型トラック	8	8	7200×2300	5300×2200
	6	6	7700×2500	5700×2300
	5	5	7600×2400	5200×2200
	4	4	7600×2200	5000×2100
	3	3	4700×1700	3100×1600
小型トラック	2	2～2.9	4700×1700	3100×1600
	1	2未満	4300×1700	2500×1600

4) クロスワーク・マガジン https://joblogi.jp/journal/truck/463?utm_medium=organic_m&utm_campaign=463

5) リスのプラスチックグループ <https://www.risu.co.jp/products/search/detail/t000100033024/>

6) リスのプラスチックグループ <https://www.risu.co.jp/products/search/detail/t000100049570/>

(2) LIB 輸送業者の実情報をもとにした推計

① LIB

ヒアリング調査をもとに、より実態に即して輸送形態を設定した。FIT3 の LIB、LEAF の LIB 共に小型のバッテリーであるスズキエネチャージと混載し、4 トンショートボディトラック (荷台寸法 4350mm×2040mm) で輸送すると設定した。FIT3 の LIB には寸法 1000mm×800mm×500mm、重量 37kg のメッシュパレット、LEAF の LIB には寸法 1,200mm×1,600mm×145mm、重量 41kg のパレットを使用した。それぞれパレットには LEAF の LIB が 1 個、FIT3 の LIB はメッシュパレット 6×2 段積みで合計 12 個、LEAF の LIB はパレット平積みで 2 個積載可能である。

余ったスペースに関しては、FIT3 の LIB で使用するのと同じメッシュパレットに、スズキエネチャージ 2.5 kg を 12×5 段の合計 60 個を載せたパレットを 2 段積みで積載すると設定した。設定したトラックの荷台への積載の様子を図 4.4.1-1 に示す。

② ELV

ELV 輸送では西日本オートリサイクルの情報をもとに、FIT3、LEAF 共に 4 トントラックで 2 台積載すると仮定した。

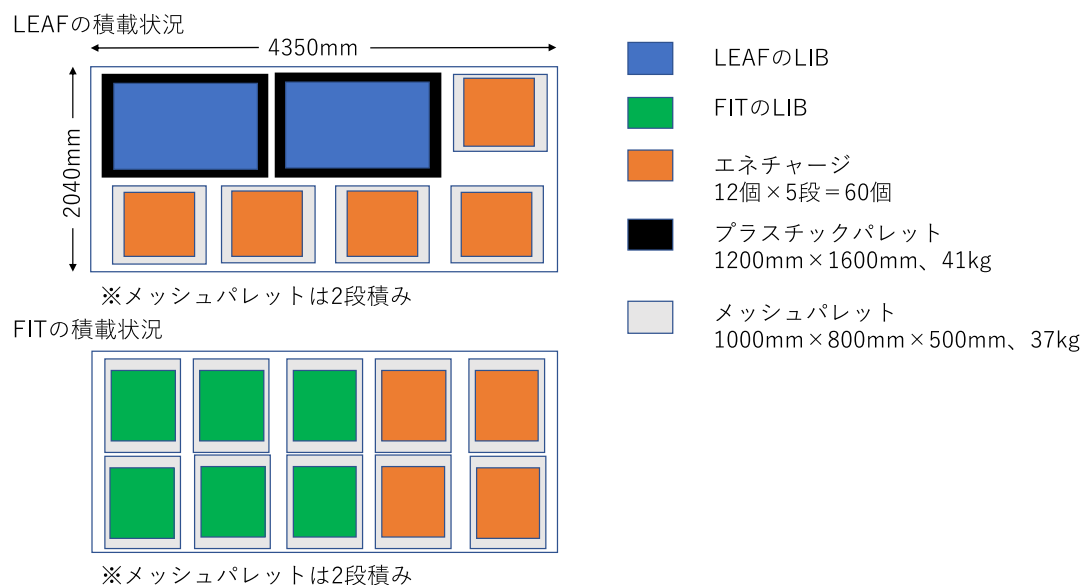


図 4.4.1-1 トラックへの LIB 積載状況

4. 4. 2 計算条件

(1)トラック種類(最大積載量)を限定しない推計

廃車台数は2025年の推計であるLEAF 704台、FIT3 3,737台、九州地域のそれぞれの人口は2015年の値を用い、輸送距離は各地域の県庁所在地の役所からの距離をGoogle Mapにて推計しており、福岡県内では有料道路、高速道路を使用しない輸送距離、その他の県では有料道路、高速道路を使用した輸送距離を推計した。なお、福岡は北九州地域、福岡地域(福岡市)、筑豊地域(飯塚市)、筑後地域(久留米市)に分けて計算を行った。北九州地域は北九州市、行橋市、豊前市、京都郡(苅田町)、築上郡(築上町)、中間市、遠賀郡(岡垣町)に分け、それぞれの役所からエコタウンまでの距離と人口から加重平均を求めた。計算により北九州地域からの輸送距離は16.6kmであった。また人口の割合からそれぞれの地域のLIB個数を求めた。これらを表4.4.2-2に示す。

これらの仮定から改良トンキロ法を用いて、CO₂排出量の計算を行った。改良トンキロ法の説明を図4.4.2-2に示す。

軽油の単位発熱量は37.7GJ/kL、排出係数は0.0187t-C/GJを用いて計算を行った。改良トンキロ法燃料使用原単位の計算は以下のとおりである。

$$\ln y = 2.71 - 0.812 \ln(x/100) - 0.654 \ln z \quad (\text{式 4.4.2-1})$$

y : 輸送トンキロ当たり燃料使用量(L)

x : 積載率(%)

z : 最大積載量(kg)

(2)LIB輸送業者の実情報をもとにした推計

上記同様に推計し、LIBを取り出して輸送するケースではエネチャージと混載して輸送するため、LIBの重量と荷物総重量の比から、LIBのみのCO₂排出量を推計した。ELVも同様に、LIBの重量とELV総重量の比から、LIBのみのCO₂排出量を推計した。

表 4. 4. 2-2 九州地域の人口、LIB 個数、北九州エコタウンまでの距離

地域	人口(2015年)		LIB個数(2025年)		距離(km)
	千人	百分率(%)	LEAF	FIT	
福岡	2591	19.91	140	744	64
筑豊	417	3.20	23	120	42.7
筑後	813	6.25	44	233	88.7
北九州	1281	9.84	69	368	16.6
佐賀	833	6.40	45	239	123
長崎	1377	10.58	74	395	212
熊本	1786	13.72	97	513	169
大分	1166	8.96	63	335	135
宮崎	1104	8.48	60	317	355
鹿児島	1648	12.66	89	473	341
合計	13,016	100.00	704	3,737	

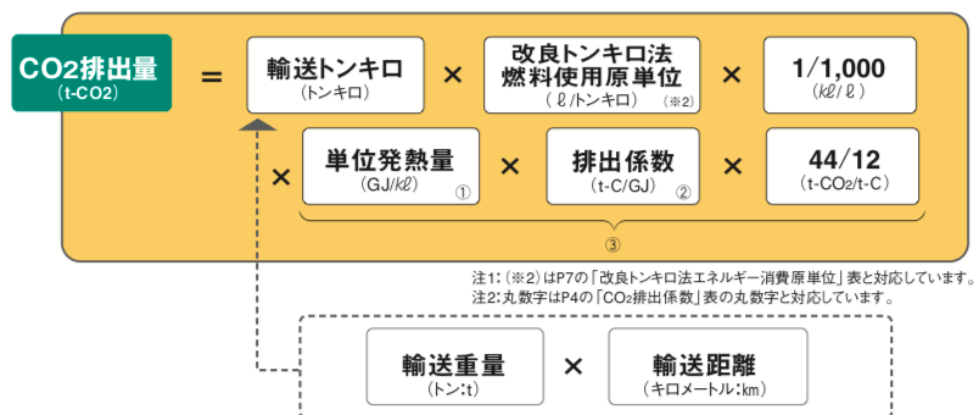


図 4. 4. 2-2 改良トンキロ法の説明

出典：経済産業省・国土交通省

「物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン」

4. 4. 3 推計結果

(1) ケース I：トラック種類(最大積載量)を限定しない推計

以上の条件から計算した LIB を取り出して輸送するケースと ELV のまま輸送するケースの CO₂ 排出量を表 4. 4. 3-1、表 4. 4. 3-2、図 4. 4. 3-1、図 4. 4. 3-2、図 4. 4. 3-3、図 4. 4. 3-4 に示す。

計算により最適なトラックは LEAF の LIB の輸送では 10t トラック、FIT3 の LIB の輸送では 4t トラックとなり、ELV 輸送では共に 4t トラックであった。最適なトラックで輸送した場合の CO₂ 排出量を表 4. 4. 3-3、図 4. 4. 3-5 に示す。

表 4. 4. 3-1 LIB 輸送の CO₂ 排出量(t-CO₂)

分類	トラックのサイズ(t)	LEAF LIB輸送							FIT LIB輸送						
		福岡	熊本	長崎	大分	佐賀	鹿児島	宮崎	福岡	熊本	長崎	大分	佐賀	鹿児島	宮崎
大型トラック	10	4.757	3.837	3.851	2.146	1.397	6.969	4.837	15.631	7.339	7.040	3.794	2.514	13.067	9.068
	8	20.651	20.952	19.913	9.129	6.932	38.433	26.674	33.822	15.655	14.880	7.959	5.180	28.719	19.932
中型トラック	6	14.736	14.936	14.195	7.594	4.941	27.399	19.016	21.104	7.348	7.090	3.837	2.468	13.685	9.498
	5	11.931	12.088	11.488	6.145	3.999	22.173	15.388	19.603	9.065	8.615	4.610	2.999	16.629	11.542
	4	9.247	9.382	8.918	4.769	3.104	17.211	11.944	15.117	6.966	6.620	3.541	2.304	12.777	8.866
小型トラック	3	31.317	48.093	46.028	24.954	16.241	89.036	62.490	51.047	60.411	58.163	31.424	20.454	112.455	78.704
	2	42.939	50.838	48.655	26.378	17.168	94.126	66.060	53.411	63.223	60.865	32.886	21.402	117.691	82.368
	1	22.718	26.898	25.745	13.955	9.081	49.804	34.956	107.257	126.752	122.503	66.192	43.068	235.839	164.724

表 4. 4. 3-2 ELV 輸送の CO₂ 排出量(t-CO₂)

分類	トラックのサイズ(t)	LEAF ELV輸送							FIT ELV輸送						
		福岡	熊本	長崎	大分	佐賀	鹿児島	宮崎	福岡	熊本	長崎	大分	佐賀	鹿児島	宮崎
大型トラック	10	18.447	20.301	19.229	10.589	6.935	37.616	26.106	123.248	134.488	129.967	70.224	45.696	250.225	174.773
	8	40.217	43.990	42.099	22.825	14.855	81.444	57.156	269.229	293.487	283.492	153.095	99.520	546.031	380.971
中型トラック	6	28.786	31.467	30.118	16.330	10.625	58.259	40.890	193.287	210.740	203.544	109.914	71.461	392.022	273.539
	5	23.401	25.589	24.487	13.274	8.640	47.375	33.252	155.932	170.008	164.202	88.675	57.647	316.295	220.695
	4	17.945	19.623	18.781	10.181	6.629	36.339	25.500	120.654	131.533	127.032	68.608	44.597	244.730	170.736

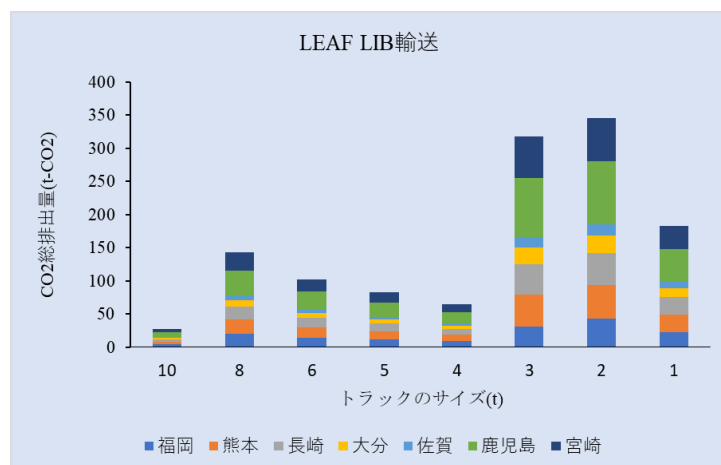


図 4. 4. 3-1 LEAF の LIB 輸送の CO₂ 排出量

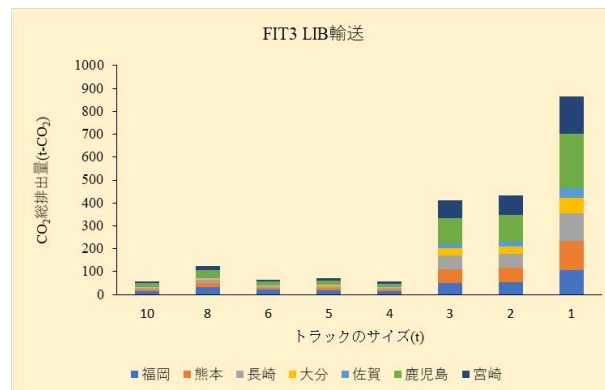


図 4.4.3-2 FIT3 の LIB 輸送の CO₂ 排出量

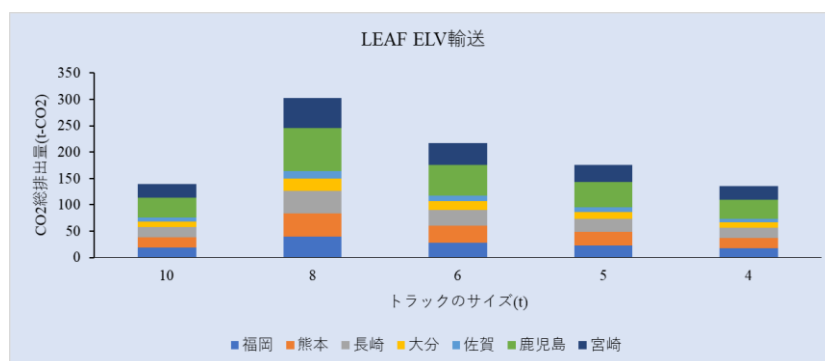


図 4.4.3-3 LEAF の ELV 輸送の CO₂ 排出量

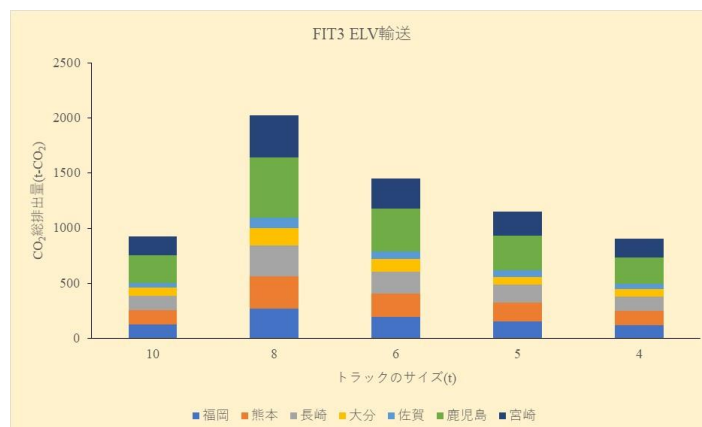


図 4.4.3-4 FIT3 の ELV 輸送の CO₂ 排出量

表 4.4.3-3 最適なトラックで輸送した LIB, ELV の CO₂ 総排出量

	福岡	熊本	長崎	大分	佐賀	鹿児島	宮崎	九州地域の CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
LIBを取り出して輸送	19.874	10.803	10.471	5.687	3.701	19.746	13.703	83.985
ELVのまま輸送	138.599	151.156	145.813	78.789	51.226	281.069	196.236	1042.888

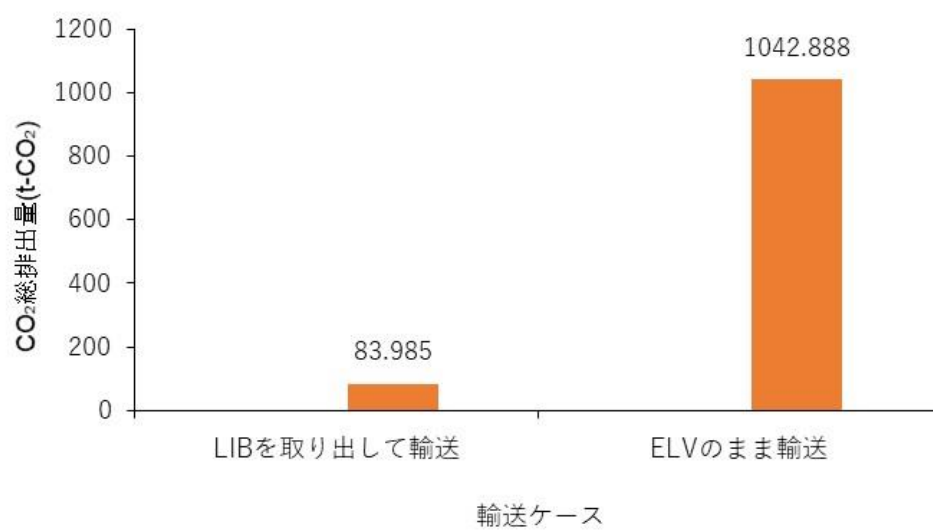


図 4. 4. 3-5 最適なトラックで輸送した輸送ケース別 CO₂総排出量

(2) ケースⅡ：LIB 収集運送業者の実情報をもとにした推計

以上の条件から計算したそれぞれの輸送ケースにおける CO₂ 排出量を表 4.4.3-4、図 4.4.3-6、図 4.4.3-7 に示す。

結果の見方であるが、「LIB を取り出して輸送」ケースの LIB と、「ELV のまま輸送」の LIB+車体を比較することになる。車体分についてであるが、両ケースともに各県の LIB 取り出し拠点まで ELV が輸送される(計算には含まれていない)。北九州エコタウンまでの ELV 輸送は「ELV のまま輸送」ケースのみ発生するので、車体分を含めるのが公平な比較といえる。

機能単位は LIB 1 個として、2025 年の推計廃車台数である LEAF 704 台、FIT3 3,737 台でそれぞれの CO₂ 排出量を除して、単位を kg-CO₂ に換算し、トラック種類(最大積載量)を限定しない推計結果と収集運送業者のヒアリング情報をもとにした推計結果を比較する。トラック種類(最大積載量)を限定しない推計結果を表 4.4.3-5、表 4.4.3-6 に示し、ヒアリング情報をもとにした推計結果を表 4.4.3-7、表 4.4.3-8 に示す。

表 4.4.3-4 輸送ケース別 CO₂ 総排出量

LIB輸送全体のCO ₂ 総排出量(t-CO ₂)		LIBと総重量の 重量比		LIB輸送のCO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)		エネチャージ輸送のCO ₂ 総排出量(t-CO ₂)	
LEAF	FIT	LEAF	FIT	LEAF	FIT	LEAF	FIT
56.34	54.92	0.26	0.37	14.82	20.54	41.52	34.38
ELV輸送全体のCO ₂ 総排出量(t-CO ₂)		LIBとELVの 重量比		LIB輸送のCO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)		LIB以外の輸送のCO ₂ 総排出量(t-CO ₂)	
LEAF	FIT	LEAF	FIT	LEAF	FIT	LEAF	FIT
50.52	284.81	0.20	0.03	10.20	8.00	40.32	276.81

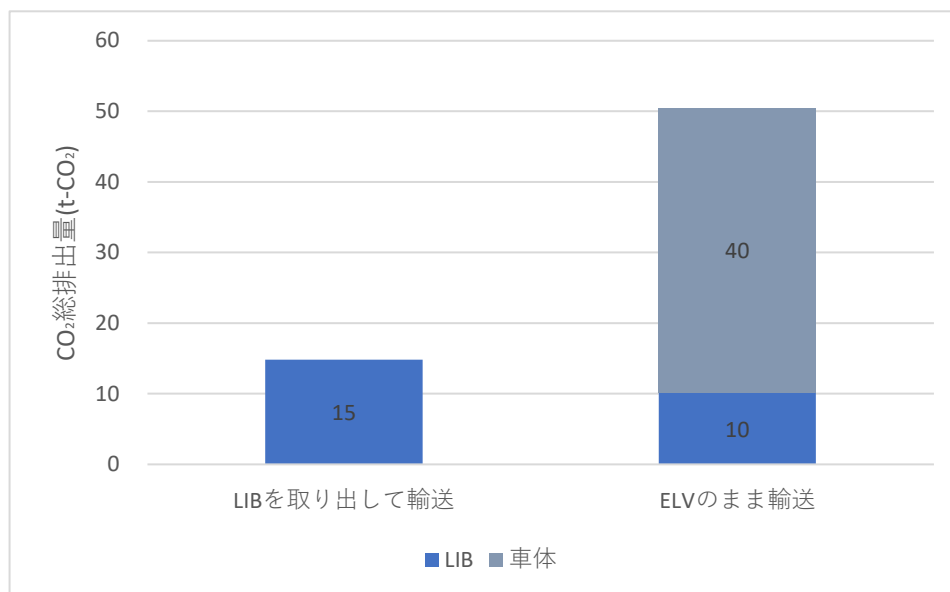


図 4. 4. 3-6 LEAF の輸送ケースの CO₂ 総排出量

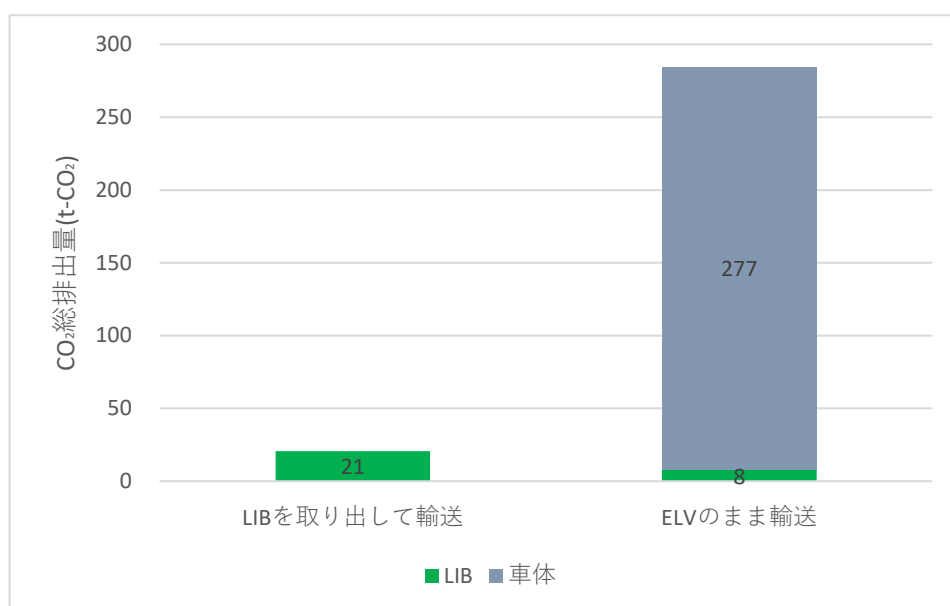


図 4. 4. 3-7 FIT3 の輸送ケース別 CO₂ 排出量

表 4.4.3-5 ケースⅠにおける LEAF の LIB 輸送ケース別 CO₂ 排出量(kg-CO₂/個)

	LIB 輸送の CO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)	廃車台数	LIB 輸送の CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)
LIB を取り 出して輸送	27.8	704	39.5
ELV のまま 輸送	135.0	704	191.8

表 4.4.3-6 ケースⅠにおける FIT3 の LIB 輸送ケース別 CO₂ 排出量(kg-CO₂/個)

	LIB 輸送の CO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)	廃車台数	LIB 輸送の CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)
LIB を取り 出して輸送	56.2	3,737	15.0
ELV のまま 輸送	907.9	3,737	242.9

表 4.4.3-7 ケースⅡにおける LEAF の LIB 輸送ケース別 CO₂ 排出量(kg-CO₂/個)

	LIB 輸送の CO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)	廃車台数	LIB 輸送の CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)
LIB を取り 出して輸送	14.8	704	21.1
ELV のまま 輸送	50.5	704	71.8

表 4.4.3-8 ケースⅡにおける FIT3 の LIB 輸送ケース別 CO₂ 排出量(kg-CO₂/個)

	LIB 輸送の CO ₂ 総排出量 (t-CO ₂)	廃車台数	LIB 輸送の CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /個)
LIB を取り 出して輸送	20.5	3,737	5.5
ELV のまま 輸送	284.8	3,737	76.2

4. 5 環境影響改善効果の評価

4. 5. 1 評価手法について

LCA によって、LIB リサイクルのライフサイクルにおける環境的側面については環境負荷ならびに環境影響を評価可能である。しかし、「環境」を、持続可能性の面からより広くとらえることも近年一般的になってきている。持続可能性の定量的評価手法には、①指標、②土地利用面積、③資源消費、④ライフサイクル持続可能性評価(LCSA: Life Cycle Sustainability Assessment)等がある。①については、持続可能な開発委員会(CSD)において開発された、経済、社会、環境等の様々な分野のデータを統合した総合的な指標セットが代表的である。②においてはエコロジカルフットプリントが代表的手法であり、環境容量にもとづいた概念で、人為的な生産・消費活動や人間が及ぼした環境負荷を土地面積として足し合わせて表現する。

③は TMR(関与物質総量)が代表的であり、循環型社会形成推進基本計画の評価指標にも採用されている。人間の経済活動に伴う直接的・間接的な物質の量、及び、経済外の隠れたフロー量を含めた物質の量を表す指標である。隠れたフローは、直接的及び間接的な経済活動に伴う物質以外にその行為に伴って起こる物質の移動や攪乱の量であり、採掘に伴う岩石や土砂の移動、森林の伐採、石油採掘などに必要とされる水を含めた変更された水系、さらには土地の再生や景観の保護のために必要な物質の総量も含める。

④の LCSA は、環境、経済、社会のトリプルボトムラインを 3 本の柱として、評価結果を示す手法である。環境及び経済的側面については、環境 LCA(ELCA)、ライフサイクルコスト分析(LCC: Life Cycle Costing)が従来から行われており、多くの評価実績があるが、LCSA では社会的な側面の評価が必要となる。

本事業では、TMR とライフサイクル社会評価(SLCA)を取り上げる。

4. 5. 2 TMR(関与物質総量)による評価

(1) 計算条件

TMR 係数を表 4. 5. 2-1 に示す。

表 4. 5. 2-1 TMR 係数

	TMR係数	単位
電力*	1.89	kg/kWh
石油*	7.4	kg/L
Fe*	5.1	t/t
Fe（粗鋼）**	5.0	t/t
Cu*	300	t/t
Cu**	125～455	t/t
Al*	10	t/t
Co*	870	t/t
Ni*	200	t/t

出典

* （独）物質材料研究機構、2009

** 立命館大学 山末ら

LEAF の LIB は部品重量のデータをもとに Cu、Al の重量を設定した。先行研究の報告書⁷⁾より、LIB モジュールから熱分解して回収される Cu はモジュールの重量×0.099、Al はモジュールの重量×0.186 と設定した。

FIT3 の LIB も部品重量のデータをもとに Cu、Al の重量比から重量を設定した。LIB モジュールから熱分解して回収される Cu、Al の重量は LEAF と同様に設定した。

それぞれの LIB から回収される Cu、Al の重量を表 4. 5. 2-2 に示す。

表 4. 5. 2-2 LIB から回収される Cu、Al の重量

車種	重量(kg)	
	Cu	Al
LEAF	23. 2	39. 7
FIT3	1. 7	2. 8

7) 三菱マテリアル「次世代自動車 LIB のリユース・リサイクルにおける低 CO₂ 削減実証事業完了報告書」
(環境省 平成 29 年度低炭素製品普及に向けた 3R 体制構築支援事業)

(2) 推計結果

LEAF の LIB、FIT3 の LIB それぞれの TMR 推計結果を表 4.5.2-3, 表 4.5.2-4 に示す。

表 4.5.2-3 LEAF の LIB の TMR

資源	重量(kg)	TMR 係数(kg/kg)	TMR(kg-TMR/kg)
Cu	23.2	300	6,947
Al	39.7	10	397

表 4.5.2-4 FIT3 の LIB の TMR

資源	重量(kg)	TMR 係数(kg/kg)	TMR(kg-TMR/kg)
Cu	1.7	300	524
Al	2.8	10	28

4. 5. 3 サステナビリティ評価

(1) SLCA 評価手法⁸⁾

LCA の中でも SLCA (Social LCA) については、2009 年に UNEP のガイドライン⁹⁾が出されたが、未だ研究段階にあり、評価カテゴリや評価指標等、基本的な部分についても試行錯誤が重ねられている状況にある。SLCA は、データを収集する限界、SLCA のためのデータベース (DB) の精度の限界、評価指標が多いこと、価値観が占める要素が大きい等の性質を持っているため、LCA 程の精度を持った数字の算出を行うレベルには至っていない。

SLCA においても、ライフサイクル全体を算定する場合にはこのようなバックグラウンド DB が必要となるが、現在市場にて利用可能なデータベースは、Social Hotspots Database (SHDB) と Product Social Impact LCA Database (PSILCA) の 2 つである。SLCA においても、ELCA 同様、自らが収集した一次データへバックグラウンド DB を連鎖させることで、資源採掘まで遡ったサプライチェーンの最上流までを積算するが、その際、収集するデータの地域性が非常に重要となる。あるセクターに投入される 1 時間の労働時間に含まれる社会リスクレベルは、国によって異なるからである。また、時間的な側面に対する要請も、一般に ELCA より厳しい。紛争の勃発、政権や経済状況の変化、法律の整備といった事情により、当該国や地域の状況が数年オーダーで激変することもあり、最新の世界情勢を反映したデータが求められる。

現在 SLCA の標準化に関しては、ISO TC207 SC5 やこの SC と TC323 の合同で設置された JWG14 (2 次原料標準化) において議論が始まっており、注視が必要である。

(2) 関連研究

関連の研究に、フィンランドのラッペーンランタ大学 (Lappeenranta-Lahti University of Technology) において実施された「コンゴ共和国におけるコバルト採掘の SLCA」がある¹⁰⁾。コバルト採掘がコンゴ民主共和国の人間の福利に与えている影響を評価した研究である。最大の社会的影響は、ストレスの多い労働条件と不安によって引き起こされていることが示唆されている。

図 4.5.3-1 と表 4.5.3-1 は、評価におけるシステム境界とインパクトカテゴリー (影響領域) である。

8) 正畠宏一：社会 LCA の実務：データベースとホットスポット分析、日本 LCA 学会誌, Vol. 14, No. 4, 2018

9) United Nations Environment Programme (UNEP): GUIDELINES FOR SOCIAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PRODUCTS, 2009

10) Anni Orola: Social life cycle assessment of cobalt mining in Democratic Republic of Congo, LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Master's thesis, 2021

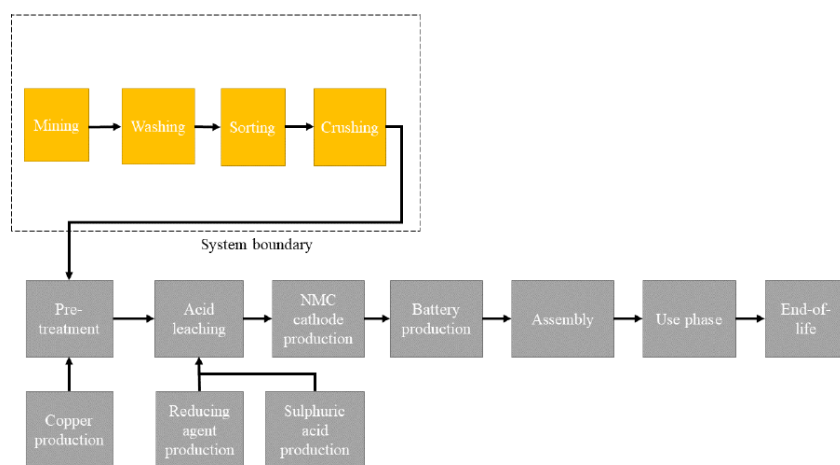


図 4.5.3-1 コバルト採掘・LIB 製造における評価のシステム境界

表 4.5.3-1 インパクトカテゴリー

- ・ Occupational accidents
- ・ Occupational diseases
- ・ Diseases in local community
- ・ Child labour
- ・ Children out of school
- ・ Compensation
- ・ Excessive work
- ・ Fair wage
- ・ Gender related participation restrictions
- ・ Inadequate access to health care
- ・ Inadequate access to pensions or social security
- ・ Interpersonal or communal violence
- ・ Refugees or internally displaced
- ・ Stressful working conditions
- ・ Threats of violence or other contact crimes

4. 6 今後の課題

LCA においては、本年度までに、劣化診断、放電、解体、熱分解、再生、湿式回収の各プロセスのデータが未収集である。

次年度、試運転が可能となった工程から順次、実証試験を実施し、LCA データ収集を行い、本事業のプロセストータルとしての総合的、俯瞰的な評価を行う。

上述の LCA データ収集に伴い、TMR の計算についても評価対象(再生資源)を広げる。

サステナビリティ評価については、海外の採掘現場の現地調査は現実的ではないため、文献調査を中心に評価に必要なデータ収集を行うことで SLCA を試みる。

5. 事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討

本事業で用いる装置及び設備の試運転や装置最適化試験等から運転データを収集し、工程ごとの経済性を評価した。また、本事業における LIB リユース・リサイクルシステムの各工程に用いる技術又はビジネスモデルを、金属リサイクルビジネスに横展開する可能性を検討した。さらに、実証事業で得られた技術及び経験を、将来の LIB リユース・リサイクル事業へ活かす方策を検討した。

5. 1 評価シナリオの確認

本事業プロセスの経済性評価に当たっては、総合的・俯瞰的な評価を行うため、本事業プロセス単独の評価だけではなく、他のプロセスとの比較検討により評価することを想定している、

比較対象プロセスとして、既存の LIB リサイクルプロセス(一般社団法人自動車再資源化協力機構(以下「自再協」と記す)が運営する LIB 回収・処理スキーム)を設定した。表 5. 1-1 に比較検討対象とするプロセスを、図 5. 1-1 に既存プロセスの代表的な LIB 処理方式を示す。

本年度に各工程の評価に着手するにあたり、シナリオの見直しについての確認を行ったが、本事業プロセス及び既存の LIB リサイクルプロセスの想定に変更がないことから、本年度も引き続き、設定済みのシナリオに沿って評価を行うこととした。

表 5. 1-1 比較検討対象とするプロセス

1. 本事業のプロセス	・ 本事業で開発するプロセス
2. 既存プロセス	・ 自再協 LIB 処理スキームの認定運搬事業者、認定処理事業者(電気炉方式、焼却方式等)を中心とした処理プロセス

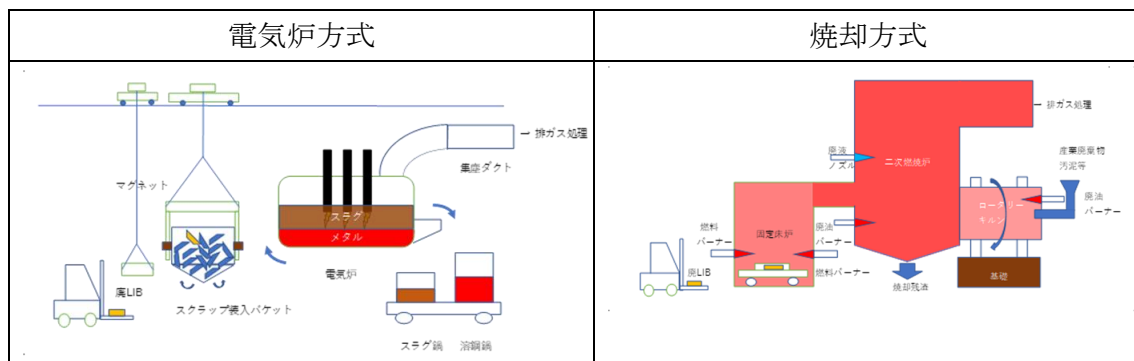


図 5. 1-1 既存プロセスの代表的な LIB 処理方式

5. 2 LIB 取り出しに関する経済性評価

本年度は、LIB 取り出し工程の実証試験でデータ採取し、処理コストの試算を行った。

5. 2. 1 処理台数の設定

本事業において、2025 年度の九州地区から排出される廃車台数を九州全域から廃車として集荷することを前提にしているが、輸送効率を考慮し、遠隔地からは LIB を取り外して集荷し、福岡県内のみ廃車で集荷するケースも考えられるので、表 5. 2. 1-1 に示す 2 ケースについて処理台数を設定した。

表 5. 2. 1-1 処理台数の設定

	集荷方法	LEAF 廃車処理台数	FIT3 廃車処理台数
ケースⅠ	九州全域から廃車で集荷	704 台/年	3,737 台/年
ケースⅡ	輸送効率を考慮し、福岡県内のみ廃車で集荷、その他の県は LIB で集荷	278 台/年	1,473 台/年

5. 2. 2 コスト算出のための単価等の条件設定

コスト算出に必要な条件設定については、一般化のため各種統計から数値を使用することを原則とし、統計情報からの設定が困難な箇所は関係事業者からの聞き取りにより条件設定を決定した。使用した条件を表 5. 2. 2-1 に示す。

表 5. 2. 2-1 コスト算出に向けた条件設定

項目	設定値	設定根拠
労務費単価	年間給与=6,040,000 円/人 (所定賃金と賞与)	令和 2 年賃金構造基本統計調査第 1 表 (厚生労働省)の I-54 機械機器卸売業
電気単価	18.7 円/kwh(消費税込)	2019 年度産業向け電気料金 (資源エネルギー庁)
軽油単価	106 円/L(消費税込)	2019 年度九州地区の軽油産業用料金 (資源エネルギー庁)
減価償却費	年間償却費=設備費÷償却年数	(1)LEAF からの LIB 取り出しの実証試験 ・実証試験設備は、傾転装置、ロボット、コンプレッサーを対象とする。 (2)FIT3 からの LIB 取り出し実証試験 ・実証試験設備は、助力装置、コンプレッサーを対象とする。 (3)耐用年数の設定 ・減価償却資産耐用年数については、財務省令の別表第二に基づき、5 年(14 号:鉄スクラップ加工処理業用設備)及び 14 年(14 号:その他の設備)を用い、定額法にて算出した。
保全費	設備費×0.01	係数は関係事業者への聴き取りによる
管理費	労務費×0.2	係数は関係事業者への聴き取りによる

5. 2. 3 LIB 取り出し処理コスト算出結果

(1) LEAF からの LIB 取り出しに関する処理コスト

本年度の実証試験の結果を基に、傾転装置を使用した場合の LEAF からの LIB 取り出しコストと処理台数の関係を試算し、グラフ化したものを図 5. 2. 3-1 に示す。

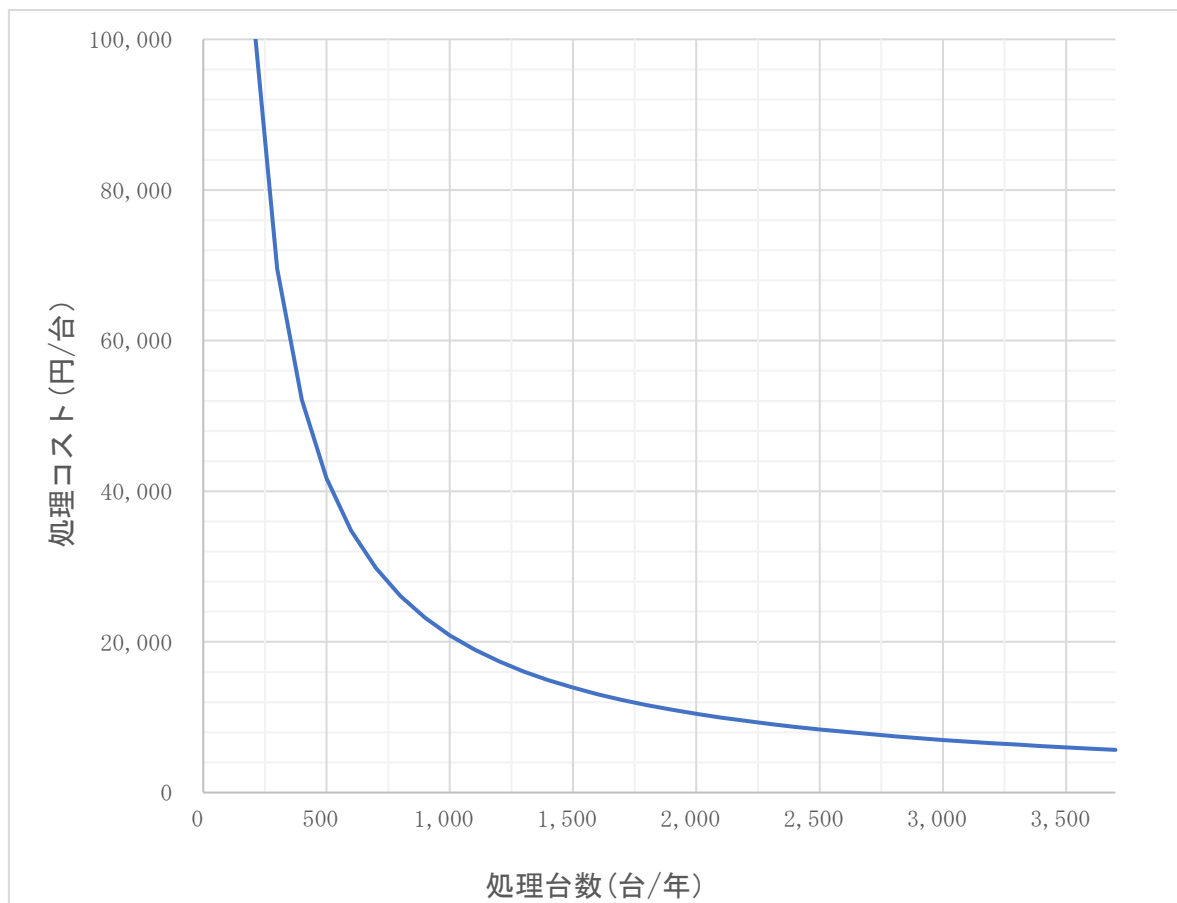


図 5. 2. 3-1 LEAF の処理台数と LIB 取り出し処理コストの関係

(2) FIT3 からの LIB 取り出しに関する処理コスト

本年度の実証試験の結果を基に、助力装置を使用した場合の FIT3 からの LIB 取り出しコストと処理台数の関係を試算し、グラフ化したものを図 5. 2. 3-2 に示す。

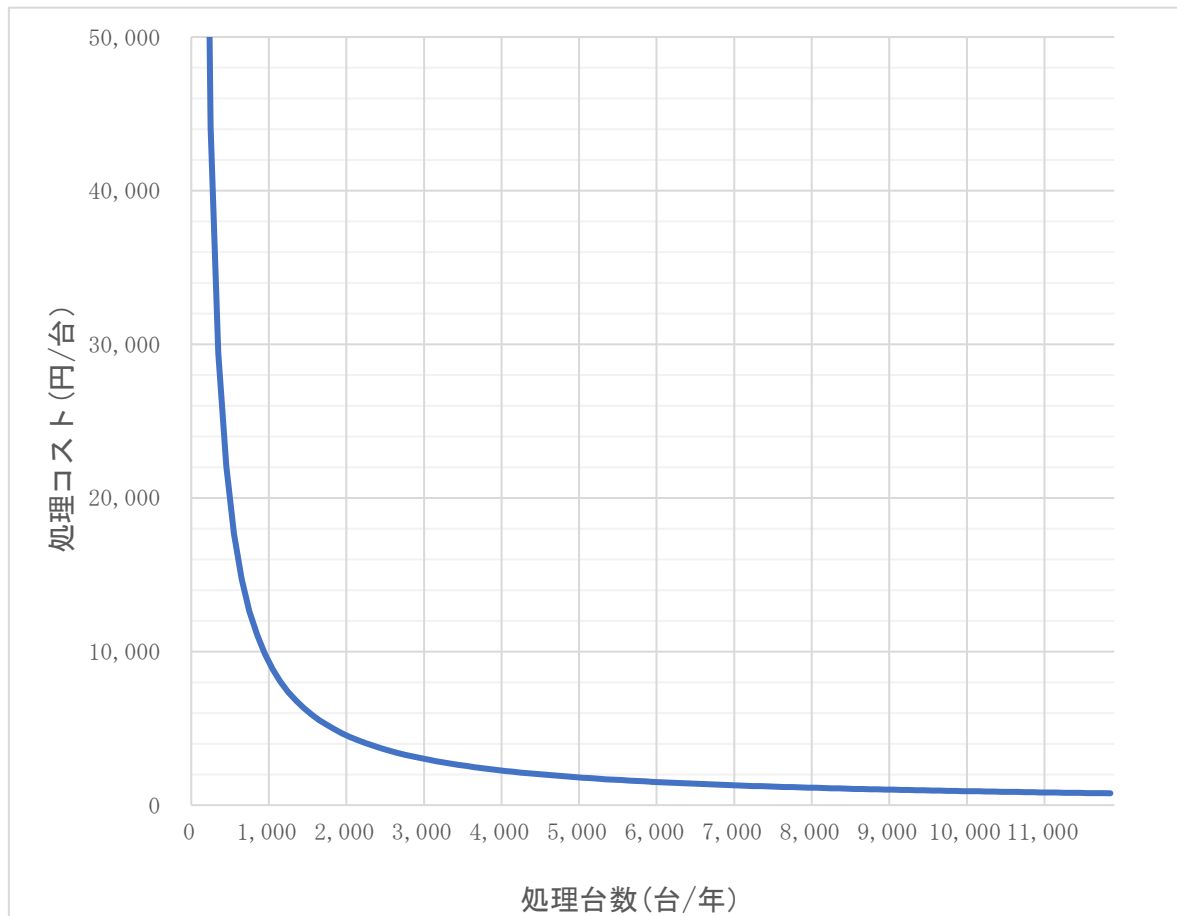


図 5. 2. 3-2 FIT3 の処理台数と LIB 取り出し処理コストの関係

5. 3 金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略に向けた検討

5. 3. 1 金属リサイクルビジネスへの横展開の可能性

金属リサイクルに関連したビジネスへの、本実証試験の横展開の可能性を以下に示す。

(1) LEAF・FIT3 以外の xEV への展開

本事業における LIB リユース・リサイクルの過程において、取り出し手法、放電、解体自動化、破碎・選別等の技術は、LEAF、FIT3 の 2 車種に限定した手法ではなく、日産自動車株式会社・本田技研工業株式会社以外のメーカーの LIB を搭載する自動車についても適用でき横展開が可能であると考ええる。取り出し手法は電池容量の大きい EV は、シヤシ底部に電池を搭載するため、傾転装置の手法が適用でき、HV などの比較的容量の小さい電池は庫内やシート下などに電池を搭載するため、助力装置による移載の手法が適用できると考える。また、解体自動化は電池種類に応じた解体手法を構築することができ、適切なツールや解体手順を各電池専用に展開することが可能であり、横展開が可能となる。

(2) xEV 以外の自動車への展開

現状、自動車解体事業者においては、多種多様な車種の ELV について部品の取り出しや解体作業が行われているが、重量物の取扱いを伴うことから作業負荷が大きく、また感電のおそれもあり安全に作業を行うためには細心の注意が必要となる。

LIB の取り出し・解体自動化技術は、LIB 搭載の自動車に限らず、燃料電池車やガソリン車を含む自動車リサイクル全般に適用が可能である。自動車から取り出される部品は個々に再販されており、特定の部品の取り出しを最短工程で自動化することで作業環境を改善して人手不足を解消し、安全かつスムーズな解体作業の実現による自動車リサイクル事業の活性化に繋がる横展開が可能であると考ええる。

(3) 蓄電ビジネスへの展開

LIB の劣化診断技術を活用したリユース LIB の事業展開に関しては、リユースできる LIB を太陽電池とパワーコンディショナを組み合わせることでグリーン電力の系統安定化を目指した蓄電池としての利用が可能である。商用利用、一般家庭利用にかかわらず、低炭素化を目指す街づくりを支える蓄電池の普及を促進することが考えられ、社会インフラ設備としての事業展開が可能であると考ええる。ただ、将来のビジネスとしてのポテンシャルは大きい、現段階で定量的な評価は困難である。

(4) レアメタル回収ビジネスへの展開

現在、車載 LIB については自再協の主導により処理が行われているが、電炉・廃棄物焼却炉による処理が主体であり、処理後物に含まれている Co、Ni 等のレアメタルについて有効利用がなされているとは言い難い状況である。

本事業の LIB の熱分解、破碎・選別、Co、Ni の湿式回収技術に関しては、車載用 LIB のみならず様々な用途の LIB 処理の高度化にも応用可能な技術であり、レアメタル等の回収の高効率化により、二次電池の正極材原料供給の安定化等、金属リサイクルビジネスに大いに貢献できるものと考えられる。

Ni、Co、Li 等のクリティカルメタルの回収は EU のバッテリー指令の改正もあり、将来的には必然となる。したがって、単なる現状の経済合理性をもって評価するのは危険と言える。また、世界的な経済安全保障の強化が検討されており、クリティカルメタルであるこれらの元素の回収、確保は注視が必要である。

(5) 本事業プロセスの他地域への展開

北九州で自動車から一貫した地域循環の金属リサイクルシステムの実証を完了した後は、他の地域においても、自動車リサイクル事業者が連携する事で、地域で一貫したリユース・リサイクルシステムの横展開が可能となる。自動車保有台数の地域別割合の多い地域においては、その規模(関東エリア：28.3%(対九州 2.4 倍)、中部エリア：15.2%(対九州 1.3 倍))に応じた廃 EV の発生台数が想定される。

日本各地域に、EV の地域循環共生圏を設けることで、廃 EV を発生場所から遠方に運搬することなく処理し、省 CO₂ での国内資源循環が可能となるものと考えられる。また、本事業において実証されたプロセスは既存スキームよりも CO₂ 発生量を低く抑えることが可能になるため、今後、日本よりも大量の廃棄車載 LIB 発生が見込まれる中国、欧州等の海外への横展開も見込まれる。

以上のように、本実証試験の関連技術の横展開により、国内産業の育成を促進し、金属リサイクル関連ビジネスを活性化するものと考えられる。また、将来的には EU の電池のリサイクル規制の影響により、電池関連産業は生産時のリサイクル材使用や回収後のリサイクルスキームの構築を求められる状況にあり、日本国内において LIB リサイクルの高度化・高効率化を推進することは本分野における国際競争力を高めるうえで必須である。

5. 3. 2 出口戦略の検討

金属リサイクルの出口戦略としては、LIB からの Co、Ni 回収物を二次電池正極材原料として安定供給する新規市場を創出することが肝要であり、それにはリサイクルビジネス活性化の道筋立てが必要である。

LIB リサイクルプロセスとして、既存の電炉方式や焼却炉方式のような Co、Ni 等のレアメタルを有効利用することが難しい手法から、湿式回収技術のように Co、Ni を効率的に回収するプロセスへ転換することが重要である。コンゴの児童労働や紛争鉱物への対応及び Co 資源調達リスクの低減など、SDGs への貢献や EU 電池規制への追随のためにも、使用済 LIB のトレーサビリティ確保を含めた回収・リサイクルスキームを構築し、二次電池正極材原料として再資源化することが望まれる。

LIB を搭載した次世代自動車の廃棄台数は 2025 年では約 20 万台、2030 年では約 27 万台が見込まれているものの、LIB 搭載 xEV の多くは未だ製品寿命を迎えていないことから、現状では市中から回収される使用済 LIB の個数は少数であり、LIB リサイクルの受け入れ体制の整備は十分ではない。来るべき使用済 LIB の多量排出に先立って LIB の国内資源循環の基盤を整えるため、事業者にあつては LIB リサイクルに必要な技術開発と設備の導入を推し進め、また、国や業界団体にあつては、二次電池の回収を確実に進めるべく法・制度を整備し、設備導入の補助やリサイクル料金体系の再整備などの制度面・経済面での事業支援を行っていただきながら、官民一丸で LIB の確実な回収・リサイクルの体制の構築に取り組んでいく必要があると考えている。

5. 4 今後の課題

(1) シナリオの見直しの検討

得られた知見とシナリオとの乖離が見られた場合には適宜見直しを行う。車載用 LIB は診断後、リユースされる可能性が高い。現段階ではビジネスモデルも含め検討中の内容が多いために明示的にリユースと連携したシナリオを示すことができないが、将来はリユース、リサイクルを一体化したシナリオで評価する必要がある。

(2) LIB 取り出しに関する経済性評価見直しの検討

シナリオの見直しが必要になった際には、LIB 取り出しに関する経済性評価も、合わせて見直しを行う。また、次年度、本事業のプロセストータルとしての総合的な評価を行う中で、LIB 取り出しに関する経済性評価の精度向上を検討する。

(3) 金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略に向けた検討

本実証試験全般を通じ得られた知見から、LIB リユース・リサイクルシステムの各工程に用いる技術又はビジネスモデルを金属リサイクルビジネスに横展開する可能性、並びに出口戦略について検討する。

6. まとめ

本事業では、車両からの LIB ユニット取り出し工程から Co、Ni 回収工程まで、構成素材ごとの適正なリユース・リサイクルの一貫処理の実証を福岡県北九州市で行い、CO₂削減効果を評価した。本年度は、廃車両からの LIB ユニットの取り出し、LIB ユニットのリユース・リサイクルの仕分けのための劣化診断、リサイクル向け LIB ユニットの放電・解体、LIB セル又はモジュールの熱分解、破碎・選別、活物質からの Co、Ni 回収・精製からなる一連の処理プロセスの検討を行った。

各処理プロセスに関して、LIB ユニット取り出し工程では、LEAF と FIT3 の 2 車種を対象とし、取り出し作業の省力化を目的に、LEAF では車両の傾転、ねじ外し装置を実装した LIB ユニット取り出し自動化装置を、FIT3 では LIB ユニット取り出しのための助力装置をそれぞれ設計・製作し、LIB 取り出し作業の安全性及び省力化に寄与できることを確認した。LIB ユニット劣化診断工程では、現在開発されている劣化診断技術の比較検討を行い、引き続き、今後も技術開発の動向を調査・注視することとした。また、劣化診断後の蓄電池としての用途に関する考察も実施した。LIB ユニットの放電の工程では、LIB ユニットの安全かつ効率的な解体並びに熱分解での熱暴走の回避のため、LIB ユニットの状態での放電の実証を行い、安全かつ効率的な放電手法を検討した。LIB ユニット解体自動化工程では、産業用ロボットを活用した解体作業の自動化について、実際の LIB ユニット解体作業により得られた作業手順を作成し、解体作業の一部に自動化を組み入れた LIB ユニット解体ラインの構成を立案した。LIB モジュールの熱分解工程では、LIB 内の有機物である電解液を無害化し、後段の破碎、選別にて Co、Ni を高効率で分離、回収するための熱分解炉としてバッチ炉の仕様を検討し、製作、設置を行い、熱分解挙動の確認試験を行った。熱分解後の破碎・選別工程では、昨年度実施した破碎機、選別機、設備レイアウトの検討結果を基に、二軸せん断ライン、ハンマー破碎選別ラインの製作、設置を行い、ハンマー破碎選別ラインにおける破碎選別能力の確認を行った Co、Ni の回収工程では、LIB 熱分解、破碎・選別後に回収した活物質から Co、Ni を湿式回収するプロセスを改善検討し、Co、Ni を高効率、高純度で回収可能であることを実証試験により確認した。

以上の実証試験から、事業における環境影響改善効果、CO₂ 排出量削減効果の評価を行うとともに、事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討として、LEAF・FIT3 以外の xEV への展開、xEV 以外の自動車への展開、蓄電ビジネスへの展開、レアメタル等回収ビジネスへの展開などの横展開の可能性を整理し、出口戦略に向けた検討を行った。今後は、LIB のリユース／リサイクル各工程における装置及び設備を効率的に用いて一貫処理実証を推進、深化させ、本事業で用いる装置及び設備の操業データを収集し、工程単位及び一貫処理での環境影響改善効果、CO₂ 排出量及び経済性評価を試算していく。

付録 1 「現地視察会の開催」

日時：2021 年 8 月 23 日(月) 13:30～16:00

場所：Web 会議形式で実施

付録 2 「共同実施者等との打合せ」

第一回：2021 年 4 月 21 日(水) 13:30～15:00

第二回：2021 年 6 月 16 日(水) 13:30～15:00

第三回：2021 年 8 月 18 日(水) 13:30～15:00

第四回：2021 年 10 月 20 日(水) 13:30～15:00

第五回：2021 年 12 月 15 日(水) 13:30～15:00

付録 3 「評価審査委員会への出席」

令和 3 年度 評価審査委員会(開催なし)

用語の定義/略語

番号	用語	定義
01	BMS	Battery Management System:バッテリー管理システム。
02	CAN	Controller Area Network
03	ESS	Energy Storage System:電力貯蔵システム。
04	EV	Electric Vehicle:電気自動車。
05	HV	Hybrid Vehicle:ハイブリッド車。
06	LIB	Lithium-Ion Battery:リチウムイオン電池。LiB とも。
07	LIB セル	LIB の最小構成単位。
08	LIB モジュール	複数の LIB セルで構成され、LIB ユニット内でバッテリーの一単位として存在する LIB。
09	LIB ユニット	複数の LIB セルあるいはモジュールで構成され、次世代自動車のモーターを駆動するために供される車両部品としての LIB。
10	PHEV	Plugin Hybrid Electric Vehicle:プラグインハイブリッド車。
11	RFID	Radio Frequency Identifier
12	SOC	State of Charge
13	SOH	State of Health
14	V2H	Vehicle to Home
15	xEV	次世代車 (EV, HV, PHEV, FCV (燃料電池車))。
16	活物質	LIB を熱分解、破碎した後に篩選別処理の篩下で得られるレアメタルを含む粉体状物質。ブラックマス、ブラックサンドとも。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。