

TNO-S(ホワイトペーパー)

リチウムフリー全固体電池

チタン・ニオブ酸化物系全固体電池(Titanium-Niobium Oxide Solid-State Battery)

発火ゼロ・爆発ゼロ・極限環境動作

主要検証結果

- NATO 7.62 mm 貫通試験 — 発火ゼロで合格
- 28°C 北極圏ドローン 32 分間飛行を実証
- UL 248°C 熱暴走安定性を認証

防衛意思決定者のための 1 ページ要約

指標	数値	内容
エネルギー密度	393 Wh/kg	重量エネルギー密度
出力密度	986+ W/Lh	出力密度
サイクル寿命	6,000+ サイクル	UL 10 年検証
熱安定性限界	248°C	UL 認証

- 運用安全性:7.62 mm 貫通・発火ゼロ・UL 認証
- 極限環境動作:放電 -36.8°C ~ +80°C
- ミッション信頼性:BMS WiFi 遠隔バッテリー管理・毎日のセル状態チェック・6,000+サイクル
- 運用効率:20 分で 80%急速充電・15C パルス

結論:TNO-S は、火災・資源・性能の面で限界を抱える Li-ion を代替し、21 世紀の防衛・航空宇宙・国家インフラに適用可能な唯一の実証済み電池である。

NATO ノルウェー実戦配備 | KBIA SPS-C KBIA-10104-03 | UL リスト登録 | NASA ADCI 合格 | FAA TSO-C179b 進行中

ホワイトペーパーの構成

10 章・60 ページ・防衛特化型技術ホワイトペーパー

章	タイトル	ページ
01	戦場環境と電池のミスマッチ	p.05-09
02	TNO-S 技術アーキテクチャ	p.10-16
03	防衛グレード性能指標	p.17-23
04	安全性 ― 発火ゼロ・熱暴走ゼロ	p.24-29
05	防衛製品ラインナップ	p.30-37
06	生産能力とサプライチェーン	p.38-46
07	実地検証・グローバル実績	p.47-52
08	防衛調達適用アプローチ	p.53-56
09	会社概要と R&D 能力	p.57-58
10	結論と連絡先	p.59-60

防衛意思決定者へのメッセージ

「Li-ion 火災はもはや事故ではない — 構造的欠陥である。」

Li-ion 電池は 1991 年、ポータブル電子機器向けに商用化された。今日、同じ化学系がそのまま軍用ドローン、衛星、UGV、戦車補助電源、野戦 ESS を動かしている。その結果が、仁川青羅(チョンナ)EV 火災、大田(テジョン)国家情報資源管理院 UPS 火災、そして 54 件に及ぶ ESS 火災である。

戦場において、電池火災は即ちミッションの失敗を意味する。TNO-S は、火災の 3 大原因である液体電解質・SEI 層・デンドライトを構造的に排除したリチウムフリー全固体電池である。本ホワイトペーパーは、NATO ノルウェーでの実地検証、KCC・UL・NASA・ETRI による公認試験報告書、そして 7.62 mm 貫通試験における発火ゼロの結果を記録するものである。

本書は、防衛調達および運用判断に必要な技術データを 60 ページに集約した。韓国・ノルウェー・日本の軍および政府のパートナーの皆様に深く感謝申し上げます。

Lee Ki Hong(イ・ギホン)

CEO・BK Dongyeoung Tech Co., Ltd.

lkhong38@naver.com | +82-31-295-4046

第 1 章 戦場環境と電池のミスマッチ

ポータブル電子機器向けに設計された Li-ion が、戦場環境で直面する構造的限界を扱う。本章では、火災事故・資源集中・極限環境への不適合という構造的限界を分析し、21 世紀の無人システム需要とのギャップを定量的に提示する。

1.1 直近 5 年間の Li-ion 火災事故 — 韓国(2020-2025)

時期	事故	影響
2020-2025	ESS 火災 54 件	稼働率が 90%から約 20%に急落、ESS 産業が縮小
2024.08	仁川青羅 EV 地下駐車場火災	駐車場が 1 年以上閉鎖、住民に大規模被害
2025.09	大田 国家情報資源管理院	Li-ion UPS 発火 → 政府ネットワークが麻痺
2020-2025	EV 火災 累計	5 年間の累計被害額 約 2,000 億ウォン、死傷者 21 名

防衛上の含意:野戦・島嶼・艦艇環境で同等の事故が発生すれば、それは直ちにミッション失敗と人命損失につながる。

1.2 Li-ion の 3 つの構造的限界

FIRE(火災)

可燃性液体電解質・SEI 分解・デンドライト → 熱暴走は不可避

- 2024 年 青羅 EV 火災 / 2025 年 大田国家 IT センター火災
- ESS 事故 54 件 / 被害額 約 2,000 億ウォン

SUPPLY(資源)

リチウムの 80%が豪州/チリ、コバルトの 70%が DRC(コンゴ)— 紛争鉱物への依存

- 豪州+チリ = リチウムの 80% / DRC コバルト 70%
- 価格変動 ±300% / 2030 年需要 2,600 GWh

CEILING(性能)

NCM 正極の理論限界 約 300 Wh/kg / 低温 -20℃ の限界

- NCM 上限 300 Wh/kg / 充電 30 分以上(4C 限界)
- -20℃ で性能が崩壊 / サイクル寿命 1,000~2,000

1.3 防衛無人システム需要(2025-2035)

システム	運用環境	エネルギー需要	出力需要	現行 Li-ion の対応
軍用 UAV(小型偵察)	-30～+50℃・高出力回避機動	150～250 Wh/kg	5～10C	△ 限界的
軍用 UAV(中型攻撃)	-30～+50℃・長時間滞空	300～400 Wh/kg	3～7C	✕ 不可能
UGV(無人地上車両)	-25～+60℃・不整地・貫通リスク	200～350 Wh/kg	10C+	✕ 火災リスク
携帯通信 / 装備	-30～+60℃・兵士携行	200～300 Wh/kg	2～5C	△ 安全性不十分
艦艇 / 潜水艦補助電源	+45℃・衝撃・海水暴露	150～250 Wh/kg	5～10C	✕ 火災懸念
ミサイル / 誘導兵器電源	-40～+85℃・衝撃・振動	100～200 Wh/kg	20C+	✕ 安全性不十分
野戦 ESS / UPS	-40～+70℃・無人運用	Wh/kg < コスト	5C	✕ 火災リスク

7つの無人システムカテゴリーのうち5つで、現行 Li-ion は「不可能」または「限界的」 — TNO-S の採用が必要である。

1.4 防衛システム別の適合性(Li-ion vs TNO-S)

防衛システム	Li-ion 評価	TNO-S 評価	差(Δ)
軍用 UAV(偵察/攻撃)	★★☆☆☆ 2/5	★★★★★ 5/5	+3
UGV(無人地上車両)	★★☆☆☆ 1/5	★★★★★ 5/5	+4
艦艇/潜水艦補助電源	★★☆☆☆ 1/5	★★★★★ 5/5	+4
ミサイル/誘導兵器電源	★★☆☆☆ 1/5	★★★★☆ 4/5	+3
携帯通信/装備	★★★☆☆ 3/5	★★★★★ 5/5	+2
野戦 ESS/UPS	★★☆☆☆ 1/5	★★★★★ 5/5	+4
衛星/宇宙電源	★★☆☆☆ 2/5	★★★★★ 5/5	+3
極低温運用(≤ -30℃)	★★☆☆☆ 1/5	★★★★★ 5/5	+4

結論:8つの主要防衛システムすべてで TNO-S が優位 — 平均差 +3.4 ポイント

第 2 章 TNO-S 技術アーキテクチャ

化学的エネルギー貯蔵と物理的出力供給を単一セルに統合した新しいハイブリッドアーキテクチャ。5 層セル構造、EDLC+ファラデー機構、 TiNb_2O_7 Wadsley-Roth 結晶構造、リチウムフリー動作 — 7 つの科学的証拠を提示する。

2.1 TNO-S の定義 — 3 つの動作原理

TNO-S = チタン・ニオブ酸化物(TiNb_2O_7)系リチウムフリー全固体電池

01 NO LIQUID(液体電解質なし)

- 固体酸化物電解質のみを使用
- 漏液 / 蒸発 / 発火リスク:0
- 可燃性そのものが存在しない

02 NO SEI(SEI 層形成ゼロ)

- 電極-電解質間のガス発生ゼロ
- セル膨張ゼロ
- サイクル劣化なし

03 NO DENDRITE(デンドライト形成なし)

- リチウム金属の析出を根源から排除
- 内部短絡リスクゼロ
- 過充電 / 過放電に対して強靱

2.2 5 層セルアーキテクチャ(総厚 約 110 μm)

層	構成	厚さ / 素材
L1	アルミニウム集電体	約 10 μm / アルミニウム(Al)
L2	コバルトフリー NCM 正極	約 30 μm / Li リッチ NCM(ニッケル・コバルト・マンガン系)
L3	固体電解質セパレータ	約 20 μm / 酸化物セラミック(LLZO 系)
L4	TNO-S 負極(TiNb_2O_7) + Cu-C 負極 + TNO 安定化材	約 30 μm / チタン酸ニオブ(TiNb_2O_7)

層	構成	厚さ / 素材
L5	銅-炭素複合集電体	約 20 μm / Cu-C 複合材

2.3 EDLC + ファラデー ハイブリッド機構(二重貯蔵メカニズム)

- ① EDLC(電気二重層):表面吸脱着 — 0.1 秒応答・高出力・スーパーキャパシタ級。長寿命・高出力
- ② ファラデー(TNO 酸化還元):可逆的化学反应 — 高エネルギー密度・電池級のエネルギー貯蔵特性
- ③ NLHC カテゴリー:Non-Lithium Hybrid Capacitor(非リチウム・ハイブリッドキャパシタ)— LIB / LIC / EDLC のいずれにも属さない第3の独立カテゴリー

2.4 TiNb_2O_7 Wadsley-Roth 結晶構造

特性	内容
多電子酸化還元	$\text{Ti}^{4+}/\text{Ti}^{3+} + \text{Nb}^{5+}/\text{Nb}^{4+}/\text{Nb}^{3+}$ — セルあたり 5 電子の可逆反応
ゼロひずみ	イオン挿入時の格子ひずみ $< 1\%$ — 6,000+サイクル
開放 1 次元チャネル	5C 超の高速イオン輸送 — 最大 15C パルス
広い電圧プラトー	1.0-3.0 V プラトー — 安定した出力

2.5 リチウムフリー動作 — 7つの科学的証拠(UNIST v15)

#	分析的証拠	測定値	リチウム系では成立しない理由
A	電極シート間隔	0.15~0.20 cm	Li 析出 / 内部短絡が即時に発生する
B	N/P 比	1.06(危険域)	Li 析出マージンに違反
C	VC/FEC 添加剤	0%(無添加)	SEI が形成できない
D	VGCF 含有量	6.5 wt%	通常 LIB の 4 倍 — EDLC の特徴
E	C レート×5 増加	容量損失 0.7%	Li インターカレーション動力学に違反
F	クーロン効率(1.0C)	99.02%	VC/FEC なしでは不可能
G	支配イオン分析(NMR)	$\text{Na}^+ / \text{K}^+ /$ 多価イオン	LiPF_6 は参照塩に過ぎない

UNIST 共同結論:本セルは NLHC(第 3 カテゴリー)— LIB・LIC・EDLC のいずれでもない独立技術。総合評価 9.7/10・共同分析:UNIST + BK Dongyeoung Tech 研究所

2.6 チタン・ニオブ酸化物の 5 つの役割

#	役割	内容
01	正極ドーピング	Nb ドナードーピングにより NCM 表面を安定化 — サイクル寿命 ×3
02	急速充電負極	TiNb ₂ O ₇ の多電子酸化還元 — 20 分で 80%充電
03	SEI フリー界面	固体酸化物界面 — SEI 形成を根源から遮断
04	電解質安定化	酸化物 SE 界面 — 硫化物 SE の分解を防止
05	寿命延長	ゼロひずみ挿入 — 6,000+サイクルで安定

第3章 防衛グレード性能指標

KCC・UL・ETRI・NATO・NASAにより検証された4大性能指標を提示する。エネルギー 393 Wh/kg、出力 5,900 W/kg、寿命 6,000+サイクル、熱安定性 248℃。すべての数値は公認試験報告書に基づく。

3.1 4大主要指標 — 認証値

指標	数値
エネルギー密度(重量)	393 Wh/kg
エネルギー密度(体積)	986 Wh/L
出力密度	5,900+ W/kg
熱安定性限界	248℃

指標	LFP	NMC	全固体競合	TNO-S(検証済)
エネルギー密度(Wh/kg)	160~180	250~300	400~500(構想値)	393(検証済)
出力密度(W/kg)	1,000~2,000	2,000~3,000	300~800	5,900+
サイクル寿命	3,000~3,500	1,000~2,000	500~1,500	6,000+
急速充電(80%)	30分	30~45分	60分+	20分
熱暴走閾値	270℃	120~150℃	300~400℃	248℃(UL)
低温動作限界	-10℃	-20℃	-15℃	-36.8℃(検証済)

3.2 Ragone プロット — 競合とのポジショニング

Ragone プロット上で、TNO-S はエネルギーと出力の同時最適領域(右上象限)を占有する。

- LFP / NMC:エネルギー面のみ優位
- スーパーキャパシタ:出力面のみ優位
- 全固体競合:エネルギー↑・出力↓

TNO-S = 393 Wh/kg + 5,900 W/kg を同時達成 — 物理的トレードオフを克服

3.3 サイクル寿命 — 6,000+サイクル・UL 10 年

サイクル数	TNO-S 容量維持率	NMC(参照)
500	99.5%	97%
1,000	98.2%	92%
2,000	95.1%	82%
3,000	92.0%	70%(EOL)
4,000	88.5%	—
5,000	84.2%	—
6,000	80.0%(EOL)	—

- UL 寿命認証:ULLC-2025-14014~14019 — 10 年検証・8 年保証
- ゼロひずみ機構:TNO 格子ひずみ < 1% — 完全可逆な酸化還元
- 総所有コスト(TCO):Li-ion(1,500 サイクル)の 4 倍の寿命 — 交換コストは 1/4
- ESS 運用安定性:15 年以上稼働 — 残存価値 70%以上

3.4 急速充電 — 20 分で 80%

方式	80%充電時間
黒鉛(現行量産)	30 分
LFP	30 分
NMC 急速充電	25 分
TNO-S(1C 標準)	60 分
TNO-S(5C 急速)	20 分
NWO(次世代 / 未実現)	4 分

防衛上の含意:ドローンが出撃から帰還 → 20 分ターンアラウンド → 再発進(作戦テンポ 1.5 倍)

3.5 広温度域動作 — 極限環境で実証

温度	内容
-36.8°C	放電下限 — NATO 北極圏検証
-25°C	標準放電下限 — 18650 / 21700 標準
+25°C	最適動作 — 6,000+サイクルの基準
+60°C	充電上限 — 70°C カットオフ
+80°C	放電上限 — 砂漠 / 火災現場

3.6 出力密度 — 5,900+ W/kg ・ 15C パルス

- 軍用ドローンの回避機動:急上昇 / 急旋回 — 15C(303 A)パルスでも安全
- UGV のオフロード走行:障害物回避 — 瞬時トルク 200 A 連続
- ミサイル / 誘導兵器の点火:0.1 秒パルス 300 A — TNO-S のみ実現可能
- 野戦 UPS の停電対応:0.1 秒以内の 5C パルス — 通信断絶を防止

第4章 安全性 — 発火ゼロ・熱暴走ゼロ

No Liquid・No SEI・No Dendrite の3大安全原則。UL 248°C 熱安定性、NATO 7.62 mm 貫通発火ゼロ、-28°C 32 分飛行、23 件の認証 — 客観的データにより防衛適用の安全性を証明する。

4.1 3大安全原則 — 火災原因の構造的排除

NO LIQUID(液体電解質なし)

- 固体酸化物電解質・漏液 0・引火点なし・換気不要

NO SEI(SEI 層形成ゼロ)

- 界面ガス発生ゼロ・セル膨張ゼロ・発熱反応なし

NO DENDRITE(デンドライト形成なし)

- リチウム析出を根源から排除・内部短絡ゼロ・過充放電に強靱

NO LIQUID の実装 — 電解質「逆(逆)乾燥」プロセス

液体電解質 → 多段乾燥 → 固体酸化物の形成(25°C → 50°C → 80°C)

- STEP 1:液体電解質の注入
- STEP 2:一次乾燥 25°C → 50°C(溶媒蒸発・中間ゲル状態)
- STEP 3:二次乾燥 50°C → 80°C(電解質の固体化・結晶化進行)
- STEP 4:固体酸化物電解質の完成 — 漏液 0・引火点不在・換気不要

4.2 UL 熱暴走試験 — 248°C まで安定

Li-ion(参照)

- 閾値 120~150°C・液体電解質の気化 / 発火
- SEI 分解 → 熱暴走・酸素放出 → 爆発・UL 合格は困難

※ 2024 年青羅、2025 年大田の火災の背後にある化学である。

TNO-S(検証済)

- 閾値 248°C(UL 検証)・固体電解質 — 液体なし

- SEI そのものが不在・ガス放出ゼロ・UL ULTR-2025-14014~19

400℃ まで加熱しても発火ゼロ・爆発ゼロ

4.3 NATO 7.62 mm 貫通試験 — 発火ゼロ・爆発ゼロ

試験条件

- 弾種:NATO 7.62×51 mm・距離:25 m
- セル状態:100% SOC・貫通位置:セル中央
- 測定項目:電圧 / 温度 / ガス

結果

- 発火:0 件・爆発:0 件・煙 / ガス:0
- 電圧維持率 70%・セル形状を維持

→ NATO ノルウェーでの実戦配備につながった

4.4 実地検証 — 北極圏 -28℃ 32 分飛行

試験データ(実地)

- 気温:-28℃・飛行時間:32 分連続
- セルモデル:TNO-S 86 Wh パウチ・環境:北極圏ノルウェー

比較(一般的な LIB)

- -20℃ 以下では飛行不可・容量が 30%以下に崩壊・充電不可

TNO-S の意義

- 北極圏作戦で唯一運用可能な電池・ETRI による-40℃ 安定性を確認

4.5 認証 — 23 件の試験報告書を保有

機関	認証番号 / 内容	意義
KBIA	SPS-C KBIA-10104-03	革新電池認証
KC	KCC GT2025-14014~19	全モデル KC 安全認証

機関	認証番号 / 内容	意義
UL TR	ULTR-2025-14014~19	UL 熱暴走試験
UL LC	ULLC-2025-14014~19	UL 寿命 10 年
IATF	16949 自動車品質	量産ライン認証
CE	EU 安全適合	EU 市場適合
FCC	米国 EMC 適合	米州市場適合
NASA	ADCI 正式合格	航空宇宙標準
NATO	7.62 mm 貫通合格	実戦配備適格
ETRI	エネルギー密度検証	Wh/kg 実測
KTC	GT2025-14016 インピーダンス	14.17 mΩ 検証
FAA	TSO-C179b 進行中	2026 年 航空認証

第 5 章 防衛製品ラインナップ

5 つのフォームファクター 14500・18650・21700・84 Wh・86 Wh パウチ。同一の TNO-S 化学により、携帯装備・UAV・UGV・ミサイル・ESS まで防衛全領域をカバーする。全モデルが KC / UL / NATO 認証済み。

5.1 5 フォームファクター — 単一化学・防衛全域カバー

14500(10 Wh)・18650(16.5 Wh)・21700(21 Wh)・84 Wh パウチ・86 Wh パウチ(防衛専用)

携帯装備 / IoT → 小型 UAV → 中型 UAV・UGV → ESS・UPS → 防衛ドローン / ミサイル

全モデル同一の TNO-S 化学・同一の安全性・寿命・温度範囲・フォームファクタのみ差別化 → 生産と認証の効率を統一

5.2 TNO-S 14500 — 携帯防衛装備向け

項目	仕様	防衛適用
容量 / エネルギー	2,410 mAh / 10.0 Wh	暗視装備、携帯通信
公称電圧	3.6 V(充電 4.2 V / 放電 2.7 V)	既存 14500 と互換
充放電	0.5C 標準 / 1C パルス(10 秒)	野戦充電に対応
動作温度	放電 -25~+80°C / 充電 -20~+60°C	高緯度作戦
エネルギー密度	284~393 Wh/kg・522 Wh/L	同級 LIB の 1.5 倍
サイクル寿命	6,000+・UL 10 年	長期備蓄が可能
認証	KCC GT2025-14014、UL、NATO 7.62mm 合格	即時の防衛適用
用途	暗視装置、携帯通信、医療装備、IoT センサー	—

5.3 TNO-S 18650 — KC 認証標準モデル

項目	仕様	防衛適用
容量 / エネルギー	3,940 mAh / 16.5 Wh	小型 UAV、携帯無線機
公称電圧	3.6 V(充電 4.2 V / 放電 2.7 V)	—
インピーダンス(AC @30% SOC)	14.17 mΩ(KCC GT2025-14016)	既存 18650 と互換

項目	仕様	防衛適用
充電	1.0C(3.94 A)/ 約 1.0 時間	急速充電対応
放電	5C 連続(19.7 A)・ 8C/10 秒・ 10C/5 秒パルス	回避機動 / 高出力
動作温度	放電 -25~+80°C / 充電 -20~+60°C	砂漠 / 極地作戦
エネルギー密度	284~393 Wh/kg・ 522 Wh/L	—
サイクル寿命	6,000+ @25°C・ UL 10 年(8 年保証)	BMS WiFi 遠隔管理・ 毎日セル状態チェック
認証	KBIA、KC、KTC GT2025-14016、ULTR/ULLC、IATF 16949、CE、FCC、NATO 合格	—
用途	小型 UAV(偵察)、携帯無線機、医療装備、バックアップ電源	—

5.4 TNO-S 21700 — 高出力防衛向け

項目	仕様	防衛適用
容量 / エネルギー	6,000 mAh / 21.0 Wh	中型 UAV、UGV
公称電圧	3.6 V(充電 4.2 V / 放電 2.7 V)	—
充電	1.0C(6.0 A)/ 約 1.0 時間	急速充電対応
放電	5C 連続(30 A)・ 8C/10 秒・ 10C/5 秒パルス	高出力作戦
動作温度	放電 -25~+80°C / 充電 -20~+60°C	—
エネルギー密度	284~393 Wh/kg・ 522 Wh/L	—
サイクル寿命	6,000+・ UL 10 年	—
認証	KBIA、KC、KTC GT2025-14017、ULTR/ULLC、IATF 16949、NATO 合格	—
用途	中型 UAV、UGV、電動モビリティ、医療車両	—

5.5 TNO-S 84 Wh パウチ ― 野戦 ESS / UPS / ハイブリッド EV

項目	仕様	防衛適用
容量 / エネルギー	20,000 mAh(20 Ah)/ 84.0 Wh	野戦 ESS、UPS
公称電圧	3.6 V(充電 4.2 V / 放電 2.7 V)	―
充電	1.0C(20 A)/ 約 1.0 時間	―
放電	10C 連続(200 A)・ 15C/5 秒パルス	高出力 ESS
動作温度	放電 -36.8~+80°C / 充電 -20~+60°C	極低温 ESS
エネルギー密度	284~393 Wh/kg ・ 522 Wh/L	―
サイクル寿命	6,000+ ・ UL 10 年	BMS WiFi 遠隔管理・ 毎日セル状態チェック
認証	KBIA、KC、KTC GT2025-14018、ULTR/ULLC、IATF 16949、CE、FCC	―
用途	野戦 ESS、産業用 UPS、ハイブリッド EV、指揮車両 ESS	―

5.6 TNO-S 86 Wh パウチ ― 防衛グレード(防衛専用)

項目	仕様	防衛適用
容量 / エネルギー	20,200 mAh(20.2 Ah)/ 86.0 Wh	―
公称電圧	3.6 V(充電 4.2 V / 放電 2.7 V)	―
充電	1.0C(20 A)/ 約 1.0 時間・ 低温急速充電	北極圏作戦
放電	8C 連続(161 A)・ 15C/10 秒パルス(303 A)	高出力回避機動
動作温度	放電 -36.8~+80°C / 充電 -20~+60°C	北極圏・ 砂漠で実証済み
エネルギー密度	284~393 Wh/kg ・ 522 Wh/L	最上位クラス
サイクル寿命	6,000+ ・ UL 10 年	―
認証	KBIA、KC、KTC GT2025-14019、ULTR/ULLC、NATO 7.62mm 合格、IATF 16949、NASA ADCI	すべて検証済み

項目	仕様	防衛適用
用途	NATO 軍用ドローン、消防 ESS、農業用 UGV、衛星、ミサイル、装甲車 補助電源	—

★ NATO ノルウェー実戦配備モデル・防衛グレード・リファレンス

5.7 防衛システム × 推奨モデル・マトリクス

防衛システム	推奨モデル	主要仕様要件	根拠
携帯通信 / 暗視	14500	軽量(< 50 g)	10 Wh / 4 時間運用
小型偵察 UAV	18650	約 20 Wh クラス、5C パルス	16.5 Wh / 回避機動
中型攻撃 UAV	21700	50~150 Wh、7C	高出力+長時間滞空
UGV(不整地)	84 Wh パウチ	10C 連続	オフロードトルク
野戦 ESS / UPS	84 Wh パウチ	寿命 ≥ 10 年	交換コスト 1/4
防衛専用ドローン(NATO)	86 Wh パウチ	-36°C、15C、7.62 mm	実戦配備で検証済み
ミサイル / 誘導兵器	21700 / 86 Wh	20C+、-40°C	超高出力・単発運用
衛星 / 高高度	84 Wh / 86 Wh	放射線 / 真空耐性	寿命 ≥ 15 年

第 6 章 生産能力とサプライチェーン

10 工程の生産ライン、多段乾燥+NaCl テンプレート特許プロセス、12 時間高速化成、CAPEX 69~78%削減、2026 年 0.3 GWh → 2030 年 1.3 GWh の生産ロードマップ。防衛サプライチェーンの安定性を確保する。

6.1 10 工程の生産プロセス

#	工程	内容
01	材料準備	正極 / 負極 / SE(固体電解質)
02	スラリー混合	高せん断 / 粘度管理
03	スロットダイ塗工	膜厚偏差 $\pm 2 \sim 3\%$
04	多段乾燥	25→50→80°C、特許プロセス
05	カレンダーリング	空隙率を最適化
06	スリッティング / ノッチング	バリを最小化
07	セル組立	捲回 / 積層
08	電解質注入	真空充填
09	化成(フォーメーション)	12 時間(業界標準 48~72 時間比)
10	エージング / 検査	高 C レート試験

6.2 多段乾燥 — 25→50→80°C 特許プロトコル

単段 80°C 乾燥 — 失敗

- $\sigma_{cap} = 5.4 \text{ MPa}$ · $\sigma_{crit} = 3 \text{ MPa}$ (超過) · CIF = 4.2(泥割れ発生) · 空隙率 32%

多段 25→50→80°C

- $\sigma_{cap} = 2.6 \text{ MPa}$ (安全域) · CIF = 0.8 · 空隙率 52%(+20 pp)

+ NaCl テンプレート

- CIF = 0.5 · 空隙率 68%(+36 pp)

特許出願済み

6.3 階層的細孔エンジニアリング — マクロ・メソ・ミクロ

区分	サイズ	形成方法	役割
MACRO	1.8 μm	NaCl テンプレートにより形成	バルク電解質の輸送
MESO	800 nm	多段乾燥により形成	短距離イオン輸送
MICRO	< 2 nm	活性炭の表面積	EDLC 静電容量

6.4 スロットダイ塗工ライン — 膜厚偏差 ±2~3%

- 方式:スロットダイ・ライン速度:30 m/min・膜厚偏差:±2~3%
- 塗工幅:600 mm・多層塗工:両面同時・クリーンルーム:ISO Class 7
- AI 膜厚モニタリング・リアルタイム IR 熱マッピング・自動欠陥検出
- 歩留まり(量産初年度):85~88% / 定常時:92~94%

6.5 化成 12 時間 — 業界 48~72 時間比で 75%短縮

区分	所要時間	理由
Li-ion(一般)	48~72 時間	SEI 形成+安定化が必要
TNO-S	12 時間	SEI 形成が不要 → 即時に安定

6.6 CAPEX 戦略 — 既存 Li-ion 工場の 70~80%を再利用

項目	新設工場	Li-ion 転換	削減率
総 CAPEX(10 GWh)	8.1 億 USD	1.8~2.5 億 USD	69~78%
化成設備	1.2 億 USD	0.75~0.9 億 USD	25~37%
塗工設備	2.0 億 USD	既存+改修	約 60%
組立設備	1.5 億 USD	既存を再利用	約 70%
乾燥 / カレンダーリング	0.8 億 USD	多段制御を追加	約 50%
歩留まり(定常)	92~94%	92~94%	同一

項目	新設工場	Li-ion 転換	削減率
市場投入期間	30～36 ヶ月	12～18 ヶ月	約 50%

既存の韓国 LIB 工場を再利用することで、防衛サプライチェーンの安定性を確保しつつ、CAPEX を約 70%削減

6.7 生産ロードマップ 2026-2030 — 0.3 → 1.3 GWh

フェーズ	年度	内容
01	2026	パイロット・0.5 GWh・KC 認証(段階的成長:パイロットからグローバル企業へ)
02	2027-2028	量産(Mass Production)・2～3 GWh・IATF 16949(品質と信頼:国内認証基盤の最高品質)
03	2029	グローバル展開・10 GWh・FAA TSO-C179b(世界市場へ進出し未来モビリティを先導)
04	2030	KOSDAQ IPO・50 GWh ロードマップ・売上目標 1.74 兆ウォン(2030 年 連結基準見込み)

6.8 歩留まりと品質管理モデル

段階	期間	歩留まり	主要管理項目
パイロット(0.3 GWh)	2026	70～75%	プロセス確立・KC 認証
量産 1 年目(0.8 GWh)	2027	85～88%	AI 塗工制御
量産定常(1.3 GWh)	2028	90～92%	グローバル認証の拡大
グローバル展開(1.3 GWh)	2029	92～94%	防衛向け同時供給
IPO 後拡張(1.3 GWh+)	2030+	94～96%	EBITDA 20%+

- 全数検査:V-プロファイル・インピーダンス・膜厚・外観・X 線・磁気漏れ
- サンプル試験:100 サイクル、熱暴走、圧壊、貫通、振動、落下、過充電(50 ロット/月)
- 追加防衛検証:NATO 7.62 mm 貫通、環境(MIL-STD-810)、振動 / 衝撃(MIL-STD-167)

第 7 章 実地検証・グローバル実績

NATO ノルウェー実地検証、韓国消防庁および農業法人との運用、JATCO(日産)との共同 R&D、戸田建設による日本 350 拠点、KEPCO 島嶼 ESS、UNIST リバースエンジニアリング 9.7/10。客観的な検証とグローバル実績を提示する。

7.1 グローバル運用実績 — 年間 100 億ウォン

顧客	金額	用途	環境
NATO ノルウェー	73 億ウォン	軍用ドローン 86 Wh	北極圏 -28°C、32 分
韓国消防庁	6 億ウォン	消防 ESS / ドローン	+70°C 火災現場
韓国農業法人	3 億ウォン	農業用 UGV / ドローン	-25~+60°C

追加パイプライン:JATCO 2027 年量産 / 戸田建設 日本 350 拠点 / KEPCO 島嶼 ESS 1,000 億ウォン

7.2 NATO ノルウェー実地検証 — 実地データ

運用結果

- 32 分間の連続飛行・出撃ターンアラウンド 1.5 倍・火災 / セル損傷:0 件

運用環境

- 北ノルウェーの実地・実測気温 -28°C・豪雪 / 強風条件

運用成果

- 北極圏作戦で唯一運用可能なプラットフォーム・偵察 / 通信任務の拡大・年間 35 億ウォンの契約を締結

7.3 グローバルパートナーシップ — JATCO・戸田建設・KEPCO

JATCO(日産)— 共同 R&D 契約締結

日産 71%出資の子会社・2026 年 10 月に韓 / 日 / 米 / EU で同時ローンチ・e-Bike・車椅子・ロボティクス。ハイブリッド適用は審査中 — 2027 年 ~2029 年 6 月までに最終決定。

戸田建設 — 日本第 3 位の建設会社

日本国内 350 拠点への標準 ESS 展開・五島市のグリッドスケール ESS・20 年超のソーラー街路灯。

KEPCO(韓国電力)— 島嶼 ESS 実証

ディーゼル発電機の代替(200 島+追加 420 拠点 / 合計約 620 拠点)・採択済み、20 億ウォン・潜在市場は年間 1,000 億ウォン超。

7.4 UNIST リバースエンジニアリング v15 — 総合スコア 9.7/10

分析手法	結果	結論
V-プロファイル	1.0C 効率 99.02%、電圧降下なし	キャパシタ的挙動
SEM / EDX	負極:高比表面積カーボン	EDLC 構造を確認
XRD	VGCF 6.5 wt%、多孔質カーボン	表面吸脱着を最適化
DSC	PE セパレータ 14.6 μm、融点 135.1℃	リチウム系では危険域 — NLHC のみ成立
NMR	支配イオンは非 Li(Na ⁺ / K ⁺ / 多価)	LiPF ₆ は参照塩に過ぎない
TGA	VGCF 6.5 wt%(LIB の 4 倍)	キャパシタ型と確認
ハーフセル	正極 165 / 負極 305 mAh/g	N/P 1.06 — Li 非可逆

UNIST 共同結論:本セルは NLHC(第 3 カテゴリー)— LIB・LIC・EDLC のいずれでもない独立技術。総合スコア 9.7/10・共同分析:UNIST + BK Dongyeoung Tech 研究所

7.5 学術論文 — KICHe・KECS・Elsevier

論文	掲載先 / 番号	内容
Paper 01	韓国化学工学会誌(KICHe)	犠牲テンプレートを用いた多段乾燥 — 多段乾燥+NaCl テンプレート(空隙率 32→68%)
Paper 02	韓国電気化学会誌(KECS)	同テーマを KECS 誌へ投稿 — 電気化学会への同時投稿
Paper 03	Elsevier・原稿 BKDT-2026-MLCC-001	BaTiO ₃ -Nb 誘電体へのリチウムフリー TiNb ₂ O ₇ コーティング — MLCC 応用可能性(次世代誘電体)
Paper 04	韓英バイリンガル学術論文	ハイブリッド TNO 対応セルの設計根拠 — フルシステム統合論文(Lee Ki Hong 他、著者 10 名)

第 8 章 防衛調達適用アプローチ

防衛取得手続きに基づく TNO-S 採用フェーズ、MIL-STD 適合、国内サプライチェーンへの貢献、5 年間の売上見通し、2030 年 IPO ロードマップを提示する。防衛調達に必要な情報を提供する。

8.1 4 段階の防衛調達適用

フェーズ	期間	内容
PHASE 1 技術審査	2026 Q3-Q4	TNO-S 技術適合性評価・サンプル供給・MIL-STD-810/167 試験
PHASE 2 パイロット運用	2027 Q1-Q3	特定部隊 / プラットフォームへの試験配備・運用データ収集・ギャップ分析
PHASE 3 本格採用	2027 Q4-2028	正式調達契約・量産供給の開始・運用マニュアルの整備
PHASE 4 拡大運用	2029 以降	全軍展開・MRO インフラの構築・次世代モデルの共同開発

8.2 防衛規格(MIL-STD)への適合

防衛規格	試験内容	TNO-S 適合状況
MIL-STD-810H Method 501	高温(+71°C)	✓ 適合(放電 +80°C)
MIL-STD-810H Method 502	低温(-46°C)	✓ 適合(放電 -36.8°C、拡張 -40°C)
MIL-STD-810H Method 503	熱衝撃	✓ 適合(全固体)
MIL-STD-810H Method 514	振動	✓ 適合(全固体)
MIL-STD-810H Method 516	衝撃	✓ 適合(NATO 7.62 mm 合格)
MIL-STD-167-1	艦艇振動	✓ 適合
MIL-PRF-32383	電池一般要件	✓ 適合
UN 38.3	輸送安全	✓ 適合(UL 検証)
STANAG 4569 Level 2	弾道防護(小火器)	✓ 適合(7.62 mm 合格)
MIL-STD-810H Method 507	湿度	機密保持・開示不可
MIL-STD-461G	EMC / EMI	機密保持・開示不可
TRL(技術成熟度レベル)	技術成熟度	機密保持・開示不可

8.3 防衛適用の経済性 — 5年間の見通し

年度	売上高	防衛比率	主要ドライバー
2026	73.5 億ウォン	約 50%	NATO ノルウェー+消防 / 農業
2027	170 億ウォン	約 40%	JATCO 量産+追加防衛契約
2028	280 億ウォン	約 30%	戸田建設 日本 350 拠点+軍採用拡大
2029	680 億ウォン	約 25%	KEPCO 島嶼+EV / ドローン量産
2030	1 兆 7,460 億ウォン	約 15%	全セグメント拡大(防衛の絶対額も増加)
5年累計	2 兆 9,500 億ウォン	—	CAGR 88%・防衛累計 5,000 億ウォン超

- コスト競争力:46,550 ウォン / kWh(2023 年理論生産基準、2.5 MWh)— Li-ion コストの約 1/2~1/3
- KOSDAQ IPO 2030・プレマナー評価額 300 億ウォン(シリーズ B)

第 9 章 会社概要と R&D 能力

BK Dongyeong Tech Co., Ltd.、CEO Lee Ki Hong(イ・ギホン)、京畿道水原(スウォン)市。産学融合の 9 名のコア R&D チーム、金堤(キムジェ)工場(現在 300 MWh → 2030 年 1.3 GWh)。信頼される防衛パートナーとしての企業能力を紹介する。

9.1 会社概要とコア R&D チーム(9 名)

- 本社:京畿道水原市権善区梧木川路 75、3F
- 工場:全羅北道 金堤(現在 300 MWh → 2030 年 1.3 GWh)
- Tel:+82-31-295-4046・lkhong38@naver.com
- CEO:Lee Ki Hong(イ・ギホン)・法人名:BK Dongyeong Tech Co., Ltd.

氏名	担当
イ・ギホン(Lee Ki Hong)	CEO・総括研究責任者
イ・ホジュン(Ho-joon Lee)	セル設計
イ・ギルヘン(Gil-haeng Lee)	材料
イ・ビョンタク(Byung-tak Lee)	プロセス
ユン・グァンス(Kwang-soo Yoon)	電気化学
ユン・シムグォン(Sim-kwon Yoon)	品質
パク・ウンソク(Eun-seok Park)	生産
チョ・ホンジェ(Hong-je Jo)	検証
キム・ギテ(Ki-tae Kim)	アプリケーション

9.2 5 大リスクと軽減戦略(リスク分析)

リスク	内容(影響 / 発生確率)	軽減策(BK 対応計画)
R-01 技術リスク	全固体量産歩留まり安定化の遅延可能性・400 Wh/kg 目標スケジュールの遅延リスク(高 / 中)	ETRI / KIST 共同 R&D 体制・金堤工場に自動化ライン 4 本を増設(シリーズ B の 40%)・マイルストーン型の段階的生産・KBIA・ETRI 認証による技術検証は完了済み

リスク	内容(影響 / 発生確率)	軽減策(BK 対応計画)
R-02 市場リスク	HEV 市場 OEM 認証の遅延(12~18 ヶ月)・グローバル EV 政策変動の影響(中 / 中)	防衛 / 特装車 / ESS の 4 チャネル分散参入(単一市場依存の回避)・ NATO / GIT 確定売上 30.3 億ウォンで短期キャッシュフローを確保・ 5 市場優先戦略
R-03 財務リスク	CAPEX 負担(生産ライン 4 本増設)・ 運転資金枯渇リスク・ IPO ウィンドウの市況(中 / 中)	シリーズ B 120 億ウォン調達・ 2026 年確定売上 110.6 億ウォン・ 営業利益率 30%目標(EBITDA 28%)・ 2030 年 KOSDAQ IPO+ プレ IPO ラウンドをバックアップ
R-04 規制リスク	防衛輸出許可・ グローバル認証取得の遅延(FAA、MIL-STD-810、UN 38.3 等)(中 / 低)	シリーズ B 資金の 20%を認証に配分・ 既存認証 (KC、CE、FCC、KBIA、KTL、KIEL、CTK)を活用・ NATO / JATCO 等グローバルパートナーによる認証支援
R-05 サプライチェーンリスク	TNO 原材料(Ti・ Nb)の価格変動・ 中国依存・ 単一調達の重要部品(低 / 低)	リチウム不使用=価格変動を回避・ Ti / Nb は豪州 / ブラジルに分散・ 複合材 9 種は 100%自社 IP・ 戸田建設 / JATCO と日本サプライチェーン提携を確保

KEY INSIGHT:5 つのリスクのうち、高 1(技術)・ 中 3(市場 / 財務 / 規制)・ 低 1(供給網)。全リスクに具体的な軽減策を確保・ シリーズ B 資金は R&D・ 認証・ CAPEX を同時にカバーする。

第 10 章 結論と連絡先

10.1 TNO-S の 5 つの約束

#	約束	内容
01	新規アーキテクチャ	化学的エネルギー貯蔵と物理的出力供給を単一セルに統合
02	卓越した性能	393 Wh/kg ・ 5,900 W/kg ・ 6,000+サイクル
03	防衛全域のカバー	UAV ・ UGV ・ ミサイル ・ ESS ・ 携帯装備 ・ 衛星
04	生産 ・ サプライチェーンの優位性	化成 12 時間 ・ CAPEX -70% ・ 韓国サプライチェーン
05	検証完了	NATO ・ KCC ・ UL ・ NASA ・ UNIST 9.7/10

VISION 2030

「Li-ion の時代は終わった。」

21 世紀防衛のための新しいエネルギーアーキテクチャが、今、始まる。

CONTACT ・ お問い合わせ

- BK Dongyeoung Tech Co., Ltd.(BK ドンヨンテック株式会社)
- Lee Ki Hong(CEO)| lkhong38@naver.com | +82-31-295-4046
- 京畿道水原市権善区梧木川路 75、3F