PremFixer Fasteners

技術ホワイトペーパー

ピボット締結システム

フルサスペンション自転車向け

接合界面・材料・検証

V2.0 エビデンス版

premfixercnc.com

完全ビジュアル版 — CONCEPTのみ

本文37点の図版と表紙は、プログラムで組版テキストを付与した概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。PremFixer Fastenersの製品構成、工場、検査記録、ラボ試験またはフィールド試験結果、認証、顧客事例、あるいは検証済み性能データを示すものではありません。公開エビデンスは工学的根拠のみを支えるものであり、製品固有の主張には本書で示すエビデンス・クロージャーが必要です。

フルサスペンション自転車向け高性能ピボット締結システムソリューション

技術ホワイトペーパー：フルサスペンション自転車向け高性能ピボット締結システムソリューション

副題
車種別ピボット締結部品一式、ピボットボルトのCNC製造プロセス、フルサスペンション自転車製造向けワンストップ技術ソリューション

ソリューションの位置付け： 車種別フルキット · CNCピボットボルト · ワンストップ技術ソリューション

版： V2.0 エビデンス版
発行者： PremFixer Fasteners
文書種別： 技術ホワイトペーパー
調査情報の基準日： 2026-08-10

想定読者と文書の目的

本ホワイトペーパーは、次の読者を対象とします。

- 自転車フレームメーカー
- フルサスペンション完成車組立工場
- MTB / E-MTBブランドのR&D・製品チーム
- サスペンション・リンケージ / コンポーネントメーカー
- サプライヤー品質技術（SQE）
- 設計 / 機械 / 生産技術者
- 戦略調達 / 購買チーム
- アフターセールス / 保証 / サービスチーム

目的は「ボルト1本をいくらで売るべきか」を論じることではなく、より本質的な工学課題について、完全な検討枠組みを確立することです。

> **ピボットハードウェアは、構造安全性、ベアリング寿命、組立一貫性、NVH、腐食、アフターサービス、ライフサイクル総コストにどのような影響を与えるのか。**

PremFixer Fastenersのソリューション位置付け

PremFixer Fastenersは、フルサスペンション自転車の製造に対し、納入対象を「標準締結部品1点」から**車種別に定義した完全なピボット締結システムソリューション**へ拡張します。対象範囲はXC、Trail、Enduro、DH、E-MTBなど、車種と荷重環境の違いをカバーし、顧客のフレーム、リンケージ、ベアリング、組立インターフェースに合わせて締結部品の組合せを構成します。

代表的なソリューションパッケージには、次が含まれます。

- ピボットボルト、ピボット軸、ショルダーボルト向けのCNC精密製造ソリューションとDFMプロセス
- ベアリング内輪およびリンケージ・インターフェースに適合するスペーサー、ワッシャー、ねじインサート、位置決め部品
- Oリング、シール、絶縁ワッシャー、グリース、緩み止めインターフェースなどの環境・組立制御部品
- ピボット位置別に構成した締結部品キット、BOMマッピング、組立順序、緩み止め / 潤滑方針、トレーサビリティ・インターフェース

PremFixer Fastenersのワンストップ・ソリューションは、次の流れで構成されます。

> **車種・荷重の定義 → ピボットインターフェースの分解 → 締結部品とベアリングスタックの設計 → DFM → CNC製造 → 表面・絶縁方針 → キット供給 → 組立支援 → 検証とトレーサビリティのクローズドループ**

この位置付けはソリューション範囲と工学的な進め方を示すもので、量産能力や製品性能が検証済みであるとの主張を自動的に成立させるものではありません。個々の材料、寸法公差、トルク、締付力、Cpk、塩水噴霧、疲労、リードタイム、車種適合性は、本書の E0 – E5 エビデンス体系に従って項目別にクローズする必要があります。

エビデンスに関する声明

V2.0は「二重エビデンスチェーン」を採用します。

外部文献エビデンス

次の問いに答えるために用います。

> この工学的メカニズム、試験方法、または業界慣行には公開根拠があるか。

情報源のレベル：

レベル	エビデンス種別	代表的な情報源
X1	規範 / 法規	ISO、ECHA、EUR-Lex
X2	査読論文 / 一次研究	Springer、ScienceDirect、MDPI、大学リポジトリ
X3	OEM / 産業技術	自転車ブランド公式技術資料、SKF、Henkelなど
X4	市場背景	現行完成車仕様、公開されている業界動向

PremFixer Fasteners製品エビデンス

次の問いに答えるために用います。

> PremFixer Fastenersの特定SKU、ロット、材料、工程は、明確な試験条件の下で実際に何を達成したか。

レベル：

レベル	エビデンス	定義
E0	仮定 / 目標	自社実測はまだなく、目標、仮定、または検証待ち項目のみ
E1	工学解析	図面計算、公差積上げ、FEA、理論解析
E2	部品試験	寸法、材料、塩水噴霧、硬さ、単品強度など
E3	締結体 / サブアセンブリ試験	トルク–締付力、横振動、繰返し着脱、ベアリングスタック
E4	フレームレベル検証	実フレーム / リンケージのシステムレベル検証
E5	フィールド検証	量産、長期走行、保証 / フィールドデータ

公開論文は「なぜこのように設計すべきか」を示せますが、PremFixer Fasteners自身の製品試験に代わるものではありません。

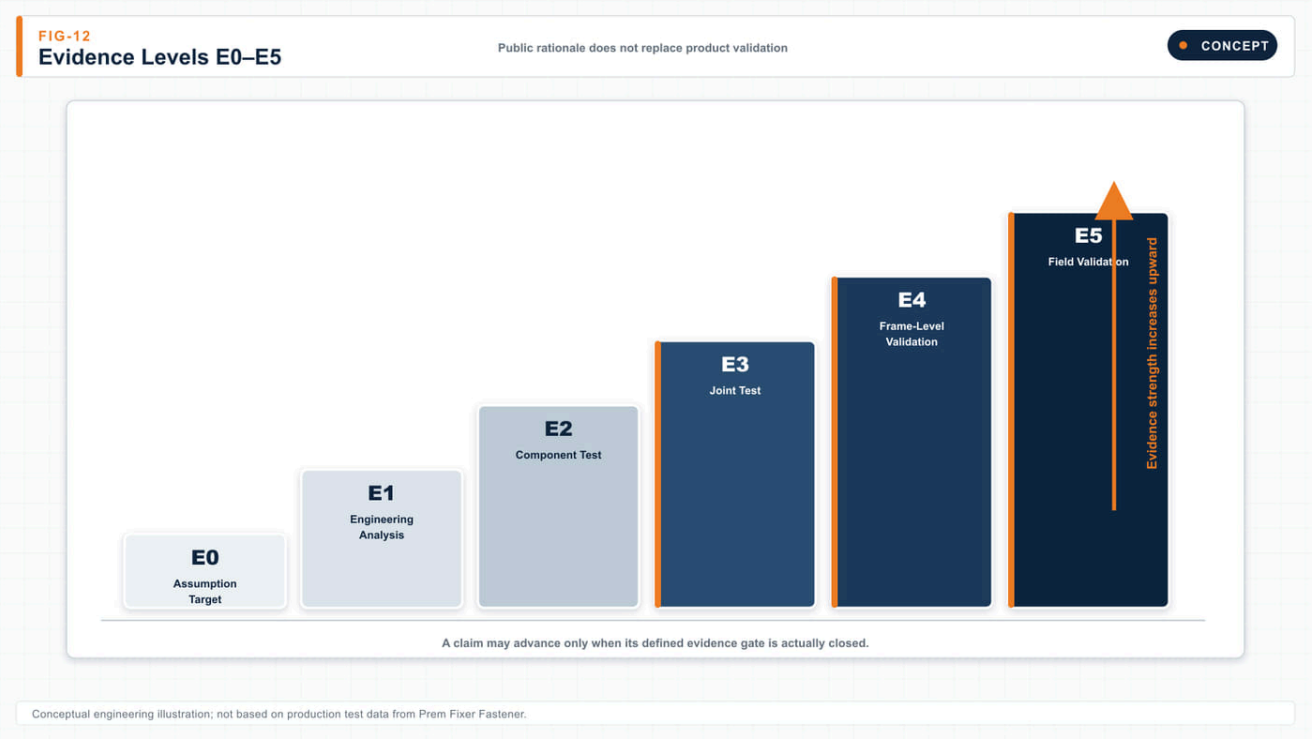


FIG-12 · 技術図 — FIG-12。仮定または目標からフィールド検証までのエビデンスレベルE0–E5。公開された根拠は製品固有の検証に代わるものではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

重要な工学的境界

1. 本書は、単一論文の結果をすべてのピボットハードウェアに共通する性能へ直接外挿しません。
2. 塩水噴霧の時間を実走行年数へ換算しません。
3. 一般的な締結部品規格を自転車専用認証として記述しません。
4. 1つのSKUの結果を製品シリーズ全体へ自動展開しません。
5. [PF-VERIFY]、[TARGET]、[MODEL]は、PremFixer Fastenersまたは顧客プロジェクトのデータでクローズする必要がある項目を示します。
6. 顧客図面、技術契約、対象市場の法規、完成車検証要求は、常に本書より優先されます。

要旨

現代のフルサスペンション自転車では、ピボットボルト、ピボット軸、ショルダーボルト、スペーサー、ワッシャー、ベアリング、ねじインサート、シール、ロッキング材が、高度に連成した機械インターフェースを形成します。これらの直接購買額は通常、フレーム、ショック、ドライブトレインよりはるかに低い一方、ピボット接合部で締付力低下、微小運動、腐食、かじり、ベアリング汚染、組立偏差が発生すると、異音からフレーム再加工、ベアリング早期故障から海外保証まで、複数のコスト階層に影響が及びます。

ボルト締結に関する公開研究は、予荷重、横荷重、摩擦状態の間に複雑な連成があることを示しています。予荷重が低すぎると緩みを促し、高すぎても過負荷や疲労限度超過のリスクを生じ得ます。[R1][R2] ベアリング工学資料は、不十分なはめあい、わずかな相対運動、表面状態がベアリング座のフレッティング腐食を促進し得ると指摘します。[R5][R6] さらに、プレミアムMTBブランドの公開サービス・ハードウェア情報から、実際のピボットシステムでは位置別にグリース、ねじロック剤、焼付き防止剤、はめ合い用接着剤、締付トルクを使い分け、すべての締結部品を同じ「ハードウェア」として扱っていないことが分かります。[R8][R9]

以上から、本ホワイトペーパーは次を提案します。

> **ピボットハードウェアは「精密軸部品 + 管理されたねじ締結体 + ベアリングインターフェース + 環境シール + アフターサービス・インターフェース」から成るシステム工学対象として扱うべきです。**

この枠組みにおけるPremFixer Fastenersの位置付けは、個別のピボットボルトを販売することではありません。異なるフルサスペンション車種の製造性、組立、保守、トレーサビリティ要求に合わせ、ピボット位置別の完全な締結部品キットとワンストップの技術連携を構成することです。

中心的な目標は、単一指標の最大化ではなく、次の要素間に検証可能な工学的バランスを見いだすことです。

強度 + 疲労 + 締付安定性 + 軽量化 + 耐食性 + 組立再現性 + 整備性 + コスト

キーワード

フルサスペンション自転車 · MTB · E-MTB · ピボットボルト · ピボット軸 · ショルダーボルト · 予荷重 · 締付力 · ねじロック剤 · フレッティング · ベアリングインターフェース · ガルバニック腐食 · 塩水噴霧 · 水素脆化 · チタンのかじり · DVP&R · DFMEA · Cpk · TCO

序文：「1本のボルト」から「ピボットシステム」へ

従来の購買分類では、ピボットボルトは締結部品、ハードウェア、小物部品に分類されることがよくあります。この分類はERPや購買コードには便利ですが、構造工学の観点では不十分です。

代表的なフルサスペンションのピボットには、次の部品が含まれます。

- フレームのピボット穴 / インサート
- リンケージ
- 密封カートリッジベアリング
- 内側 / 外側スペーサー
- ピボット軸
- ショルダーボルト
- ワッシャー
- ねじインサート / ナット
- Oリング / シール
- グリース
- ねじロック剤 / ロッキングパッチ
- 焼付き防止剤

サスペンション運動により、これらのインターフェースは同時に次の環境へさらされます。

- 周期的な軸方向・横方向荷重
- 小振幅の揺動
- 衝撃
- ブレーキ荷重とペダリング荷重の連成
- 泥水汚染
- 洗浄剤
- 湿気と塩分
- 整備時の繰返し着脱

したがって「寸法合格」は、ある時点で部品が図面に適合することのみを証明し、次を自動的に証明するものではありません。

- 締結体の締付力が適切であること
- ベアリングに異常な軸荷重がないこと
- 2シーズン後もきしみ音が生じないこと
- Tiねじがかじりを起こさないこと
- 鋼製部品のコーティングに水素脆化のリスクがないこと
- 自転車店での整備時に正常に分解できること
- コーティング変更後も元のトルクが有効であること

そのためV2.0ホワイトペーパーは、完全なライフサイクルの枠組みを採用します。

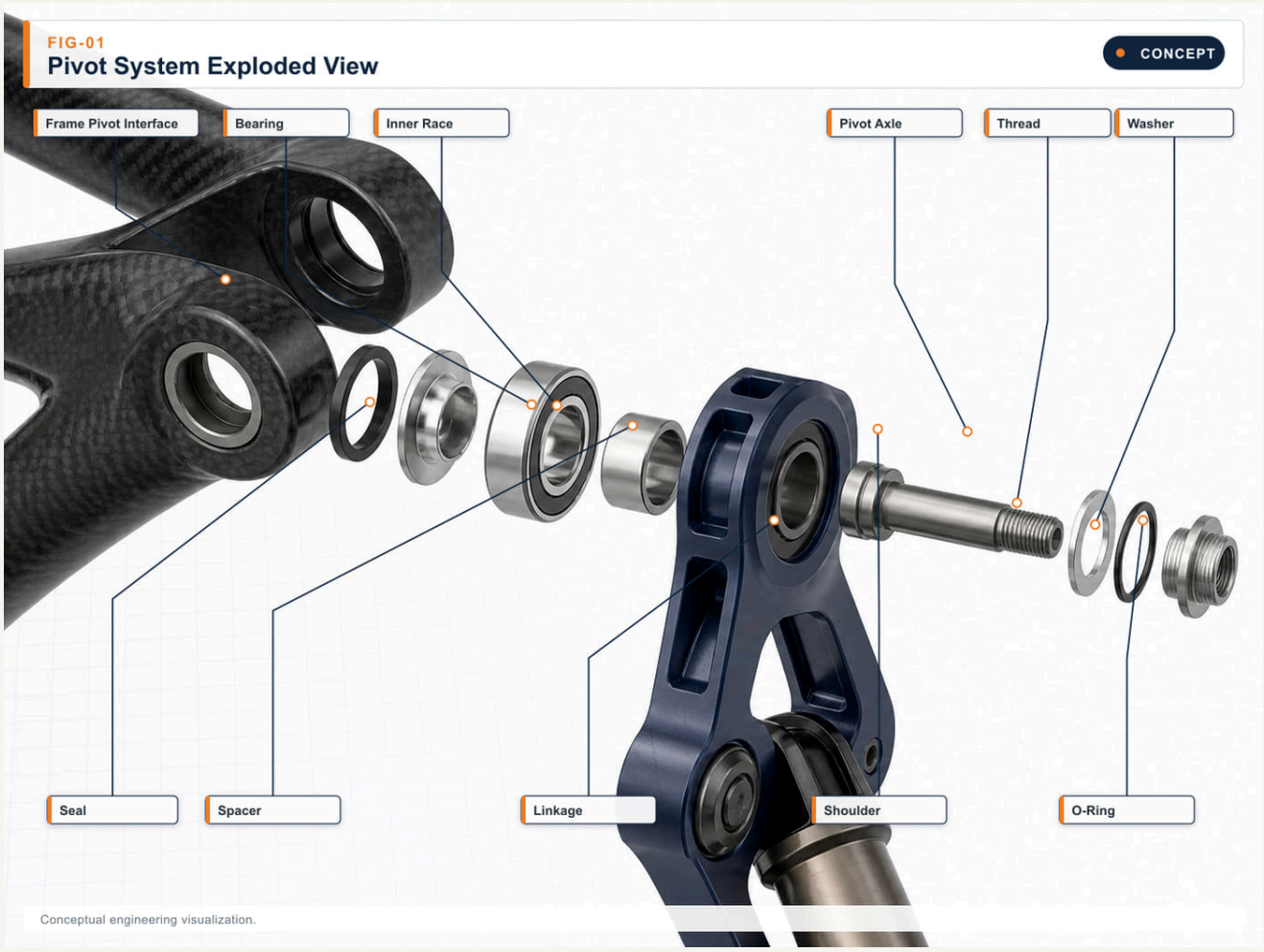
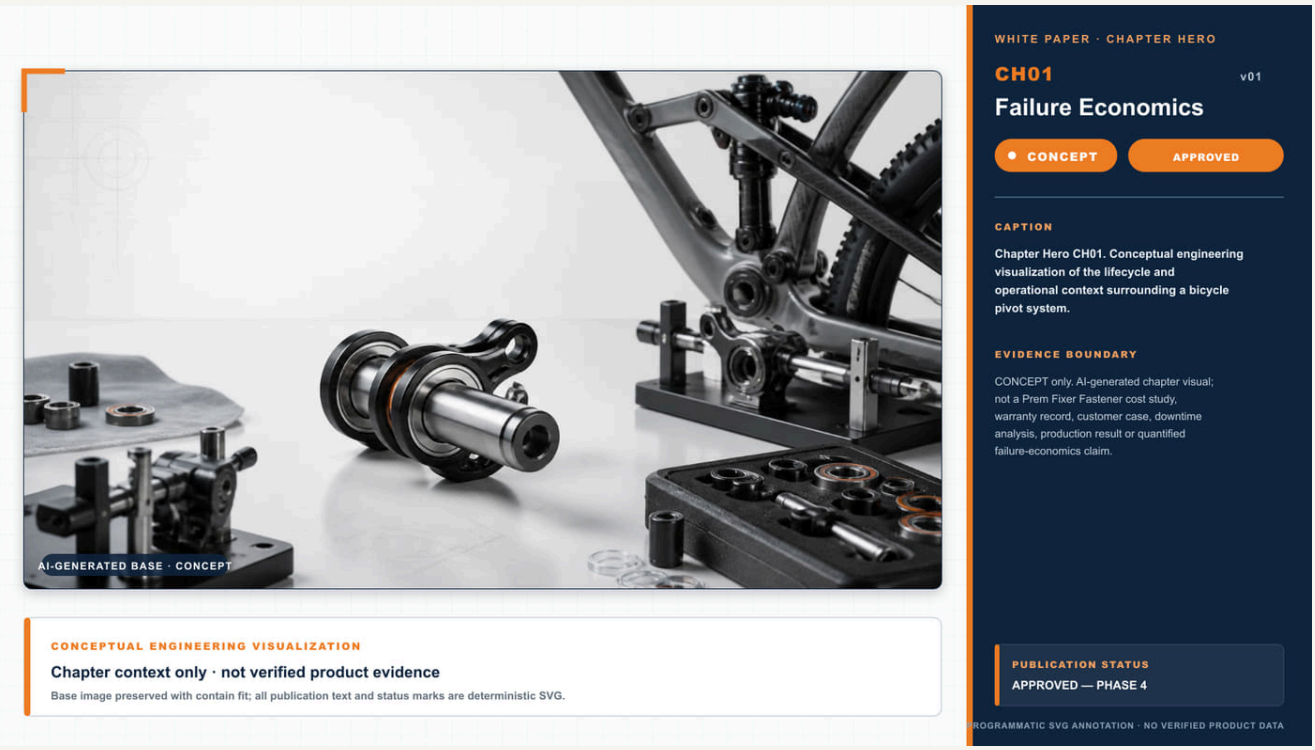


FIG-01 · 技術図 — FIG-01。ピボットシステムの分解構成。概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションであり、リリース済みBOMまたは検証済みPremFixer Fasteners製品構成ではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

第1章：産業チェーン全体から見たピボットシステムの価値と故障コスト

1. システムレベルの価値と故障の経済性



CH01 · チャプターヒーロー — CH01。自転車ピボットシステムを取り巻くライフサイクルと運用背景を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

1.1 4種類の顧客が購入する価値は同一ではない

1.1.1 フレームメーカー：構造インターフェースの安定性を購入する

フレームメーカーがまず重視するのは、次の事項です。

- ピボット穴と軸 / 軸部の機能的なはめあい
- ベアリング / スペーサー / リンクの公差累積
- 組付け時に異常な径方向荷重や軸方向荷重が生じないこと
- カーボン / アルミニウムの局部インターフェースに損傷リスクがないこと
- コーティング後の寸法が機能要求を満たすこと
- フレーム疲労試験後もピボットインターフェースが安定していること

したがって、フレームメーカーから見た価値は次のとおりです。

> **ピボットハードウェアの真の価値 = 小さな部品1点が高価なフレームを廃棄品にする確率を下げること。**

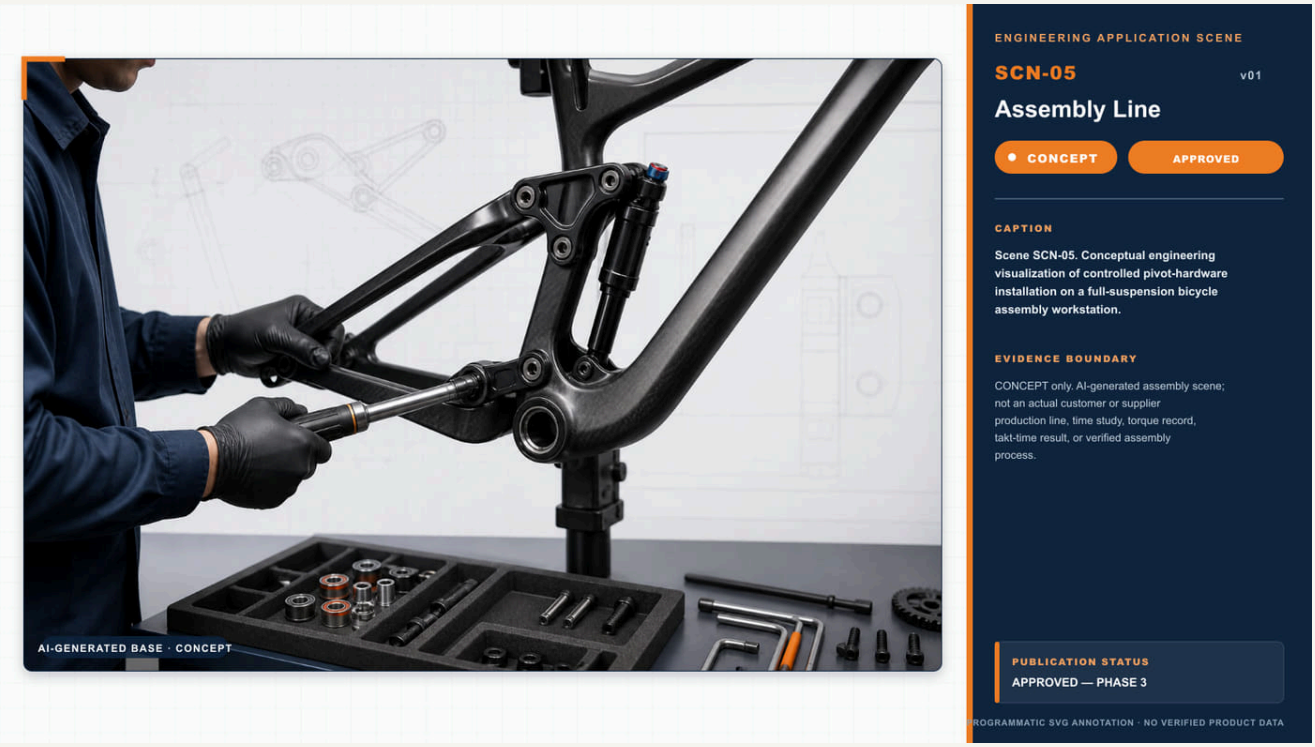
1.1.2 組立工場：組立タクトと一貫性を購入する

組立工場が重視するのは、次の事項です。

- 工具駆動部が安定してかみ合うこと
- 工具が容易に自動位置決めできること
- ねじが滑らかに入ること
- 接着剤の採取、塗布、清掃を手作業で行う必要がないこと
- 部品番号を取り違えにくいこと
- トルクが安定すること
- 初回合格率が向上すること

塗布済みねじロック剤は、成熟した工業組立プロセスです。Henkelの公開技術資料によれば、乾燥触感の塗布済みコーティングは高生産量のボルト組立に使用でき、現場で液状ねじロック剤を追加塗布する工程を省くことを目的としています。[R13][R14]

これは「塗布済みロックが組立標準化を改善し得る」という工学的方向性を支持しますが、**特定の自転車ラインで常に1.5–2分を短縮できることを自動的に証明しません。**タクト改善は実際の時間研究で確認する必要があります。



SCN-05 · 適用シーン — SCN-05。フルサスペンション自転車の組立ステーションで、ピボットハードウェアを管理して取り付ける場面の概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

1.1.3 MTB / E-MTBブランド：信頼性とブランド体験を購入する

プレミアムブランドが重視するのは、次の事項です。

- サスペンション動作が滑らかであること
- 異常なきしみ音 / クリック音がないこと
- ハードウェアが自緩みしないこと
- 雨水、泥、砂、汗、塩分の環境で信頼できること
- 整備しやすいこと
- 交換部品を長期に入手できること
- フィールド故障を追跡できること

Santa Cruzの公開整備資料では、ピボット軸とベアリングを定期的に点検、清掃、潤滑し、必要に応じて交換すべき重要な整備対象として扱い、湿潤、砂地、粉じんの多い環境では点検頻度を上げるよう示しています。[R9] Specializedは現在、一部のフルサスペンション車種でサスペンションピボットベアリングを初期所有者向け長期交換サポートの対象にしています。[R10]

こうした公開慣行は、次を示します。

> **ピボットシステムはライフサイクル全体で整備する対象であり、組み付け後に「永久に放置する」部品ではありません。**

1.1.4 コンポーネント / リンケージメーカー：開発速度とインターフェース連携を購入する

リンケージ / コンポーネントメーカーにとって、複雑さの要因は次のとおりです。

- 異なる軸長
- 異なるショルダー
- スペーサー
- ワッシャー
- ベアリング
- シール
- ねじインサート
- 左右別部品
- 異なる色とコーティング

これらを複数のサプライヤーが別々に管理する場合、実コストは単価だけでなく、次からも発生します。

- 図面改訂の調整
- サプライヤーとの連絡
- 受入検査
- MOQ
- 在庫
- 梱包

- 欠品リスク

したがって、ピボットハードウェアの供給方式は、単品購買から次へ高度化できます。

> **1つのピボットシステム / 1つの管理BOM / 1本のトレーサビリティチェーン**

1.2 故障は「コスト増幅効果」を生む

低価格の小部品で問題が発生した場合、コストの連鎖は次のようになります。

部品不良
→ 再加工
→ ライン停止
→ 車両隔離
→ 販売店診断
→ ハードウェア交換
→ 国際輸送
→ 顧客対応
→ 保証
→ ブランド評価

したがって総保有コスト（TCO）は、部品購入価格だけで評価すべきではありません。

$$
\begin{aligned}
\mathrm{TCO} = \\
C_{part} \\
+C_{assembly} \\
+C_{inspection} \\
+C_{inventory} \\
+C_{rework} \\
+C_{downtime} \\
+C_{warranty} \\
+C_{dealer} \\
+C_{logistics} \\
+C_{reputation}
\end{aligned}
$$

C_{reputation}は正確な定量化が難しいものの、プレミアムブランドが最も負担を避けたい長期コストです。

1.3 「ピボットがフレーム保証の30–35%を占める」という主張の扱い

V1.0では30–35%というマクロ比率を提示していました。V2.0の第1回公開文献調査では、**この固定比率を裏付ける、監査可能かつ公開検証可能な世界のMTBブランド統計データベースは確認できませんでした。**

したがって、正式なV2.0ではこの比率を業界事実として扱いません。

各ブランドには、独自の次の資料作成を推奨します。

ピボット保証パレート

含めるフィールド：

- モデル
- モデル年
- ピボット位置
- 故障モード
- ハードウェア部品番号
- ベアリング部品番号
- 走行距離 / 走行時間
- 環境
- 販売店工賃
- 交換費用
- 輸送費
- 根本原因
- 是正処置

実際のフィールド / 保証データのみが E5 へ昇格できます。

本章のエビデンスボックス

外部エビデンス

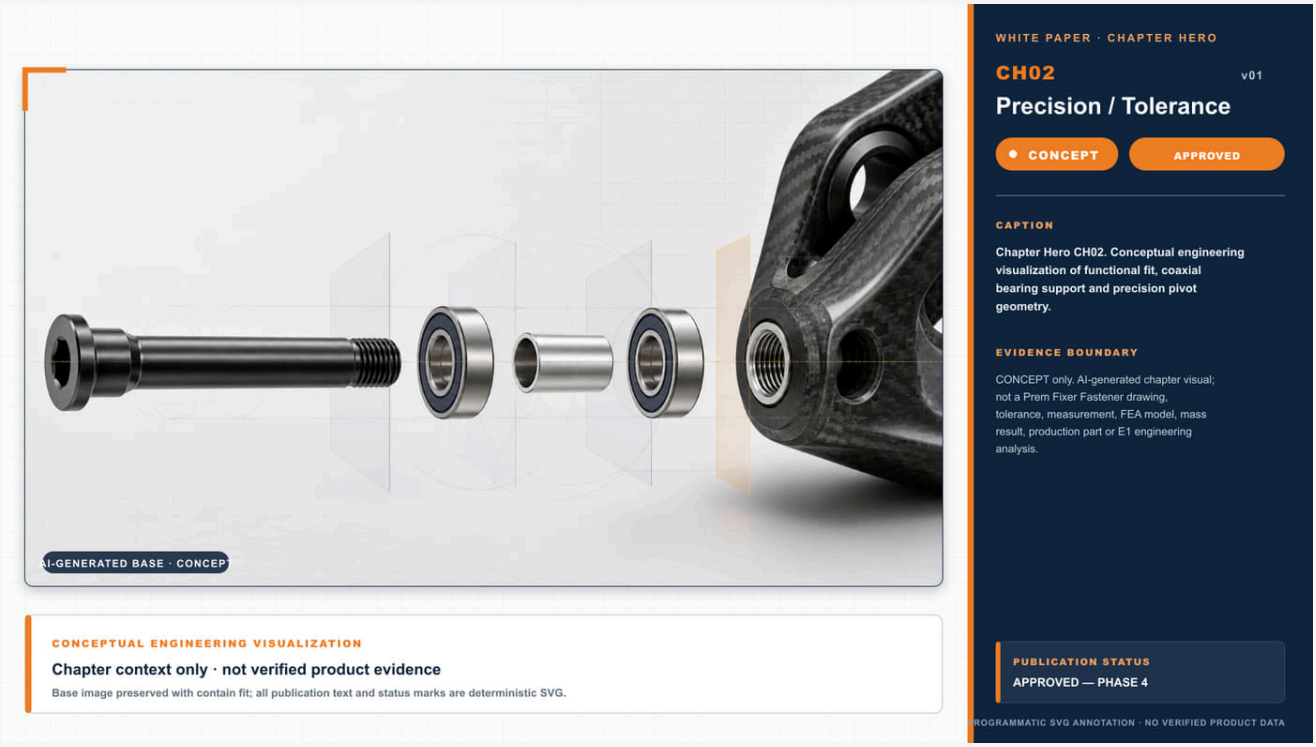
- OEM整備慣行： X3
- 保証方針： X3
- 工業用塗布済みロックの慣行： X3

PremFixer Fasteners検証ゲート

- 保証比率： E0 / 固定統計を削除
- 組立時間短縮： E0 / 時間研究が必要
- TCO削減： E0 - E1 / 顧客モデルが必要

第2章：構造安全性、公差、荷重経路、軽量化

2. 構造健全性、公差工学、軽量化



CH02 · チャプターヒーロー — CH02。機能的なはめあい、同軸ベアリング支持、精密なピボット形状を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.1 軸部は単なる「丸棒寸法」ではなく機能的なはめあいである

ピボット軸 / ショルダーボルトの軸部は、通常、次の機能を担います。

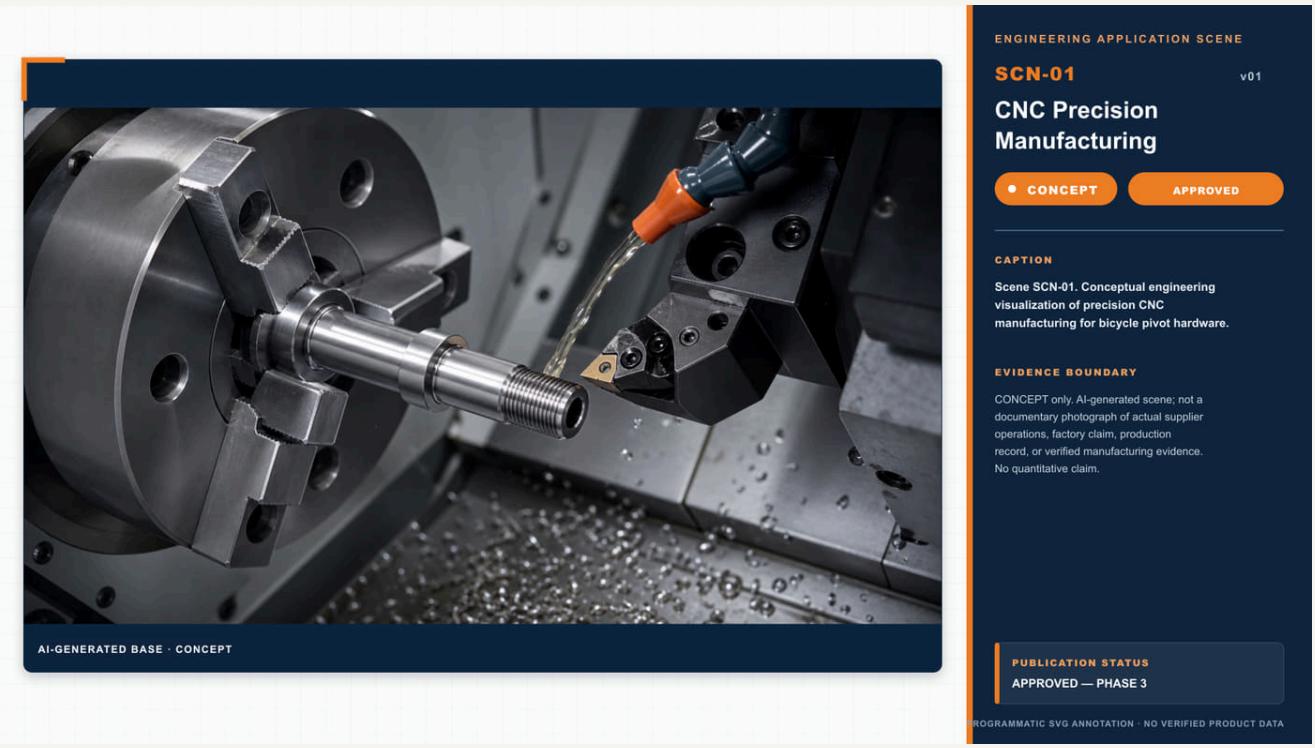
- 位置決め
- ベアリング内輪支持
- せん断荷重伝達
- 同軸保持
- 着脱ガイド

したがって、一般的な標準ボルトではなく、精密軸部品に近いものです。

SKFのベアリング工学資料は、軸 / 穴とベアリング輪間の微小な相対運動をフレッティング腐食の重要なメカニズムとし、不十分なはめあい、軸たわみ、表面欠陥が損傷を促進すると指摘しています。[R5][R6]

これは、次を意味します。

> **軸部公差をベアリング内径、スペーサー、締付力、表面仕上げ、コーティングから切り離して論じることはできません。**



SCN-01 · 適用シーン — SCN-01。自転車ピボットハードウェアの精密CNC製造を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.2 ±0.008 mmは「すべてのピボットの業界標準」ではない

重要インターフェースには狭い公差が必要な場合がありますが、「±0.008 mm」は次の条件をすべて明確にして初めて意味を持ちます。

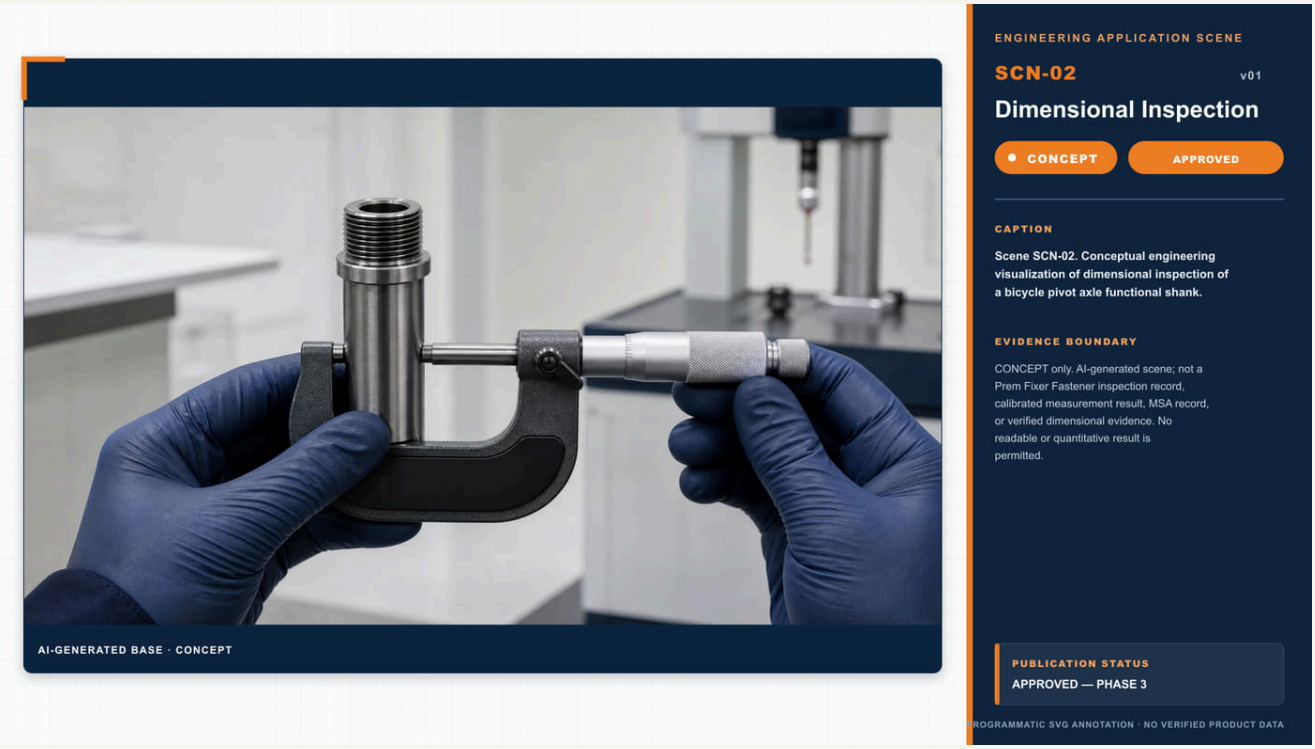
1. 呼び径
2. ベアリングまたはブッシュ仕様
3. 相手部品公差
4. コーティング厚さ
5. 最終測定状態
6. 温度
7. 測定システム能力
8. 組立 / サービス要求

したがって、V2.0で推奨する表現は次のとおりです。

> [PF-VERIFY] **選定した主要SKUの重要な機能軸部特性について、顧客図面で定義した公差を基準とし、MSA＋n≥30の寸法データ＋Cpkにより実量産能力を検証する。**

次のようには記述しません。

> 「すべてのピボットボルトは厳密に±0.008 mmである。」



SCN-02 · 適用シーン — SCN-02。自転車ピボット軸の機能軸部を寸法検査する概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.3 公差積上げ：局部寸法の合格はシステム合格を意味しない

ピボットシステムの軸方向または径方向の機能は、通常、複数の寸法によって決まります。

簡略式：

$$T_{system}=f(T_{shank},T_{bearing},T_{spacer},T_{frame},T_{coating},T_{assembly})$$

同時に確認すべき項目：

- 最悪条件の積上げ
- 統計的積上げ
- コーティングのビルドアップ

- ベアリング内部すきま
- スペーサーの平行度
- リンク幅
- ワッシャー厚さ
- ショルダー長さ

スペーサーが短すぎると、取付トルクがベアリングの横荷重に変換される可能性があります。
ショルダーが長すぎると、締結体が意図した締付力を発生できない可能性があります。

正しい問いは、次ではありません。

> 「各部品の寸法は合格しているか。」

正しくは、次です。

> **「組立後の荷重経路が正しく閉じているか。」**

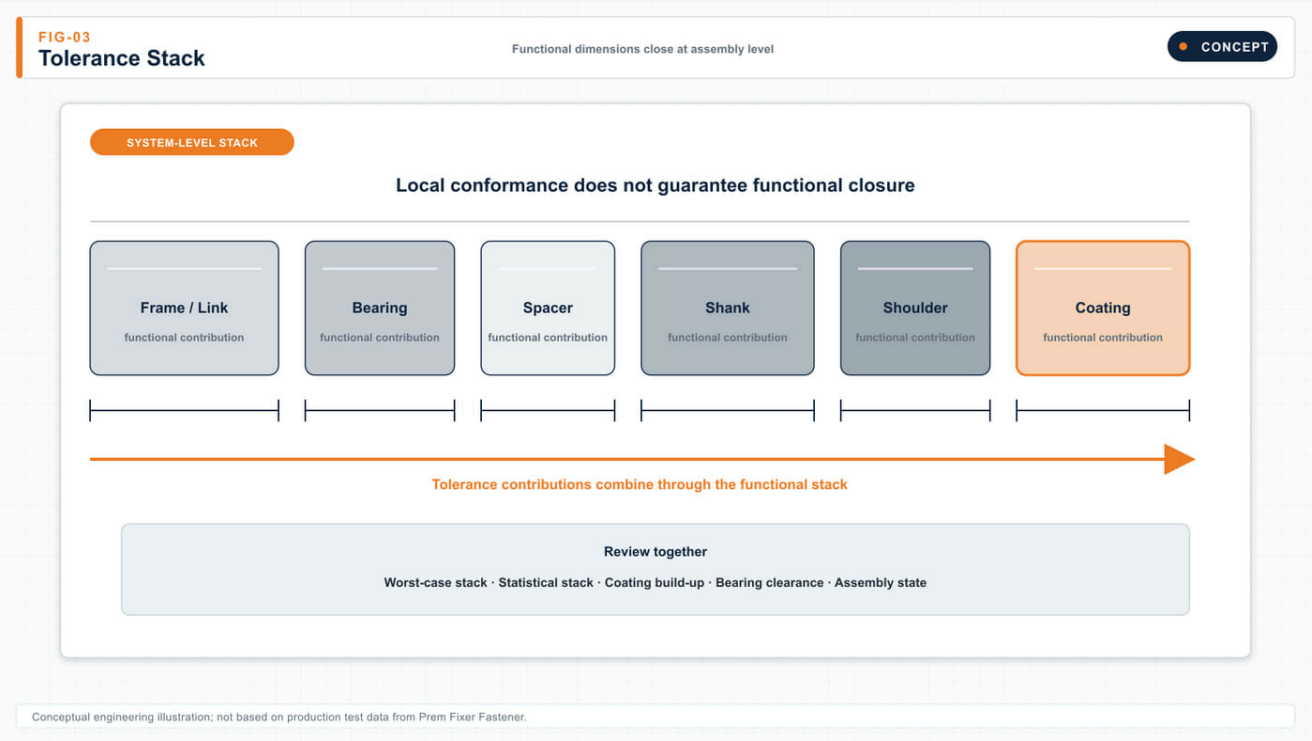


FIG-03 · 技術図 — FIG-03。フレーム / リンク、ベアリング、スペーサー、シャンク、ショルダー、コーティングによるシステムレベルの公差累積。概念的な技術図であり、量産寸法は表示していません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.4 コーティングのビルドアップを寸法設計へ組み込む

陽極酸化、硬質陽極酸化、電気めっき、Zn-Ni、亜鉛フレーク、PVDなどの表面系は、次に影響します。

- 最終寸法
- 表面粗さ
- ねじのはめあい
- 摩擦
- 締付力
- 取外しトルク

したがって、設計フローは次の順序でなければなりません。

最終機能寸法
→ コーティング厚さの許容範囲
→ 加工目標
→ コーティング
→ 最終検査

次の順序ではありません。

最終寸法まで加工
→ コーティング
→ そのまま適合することを期待

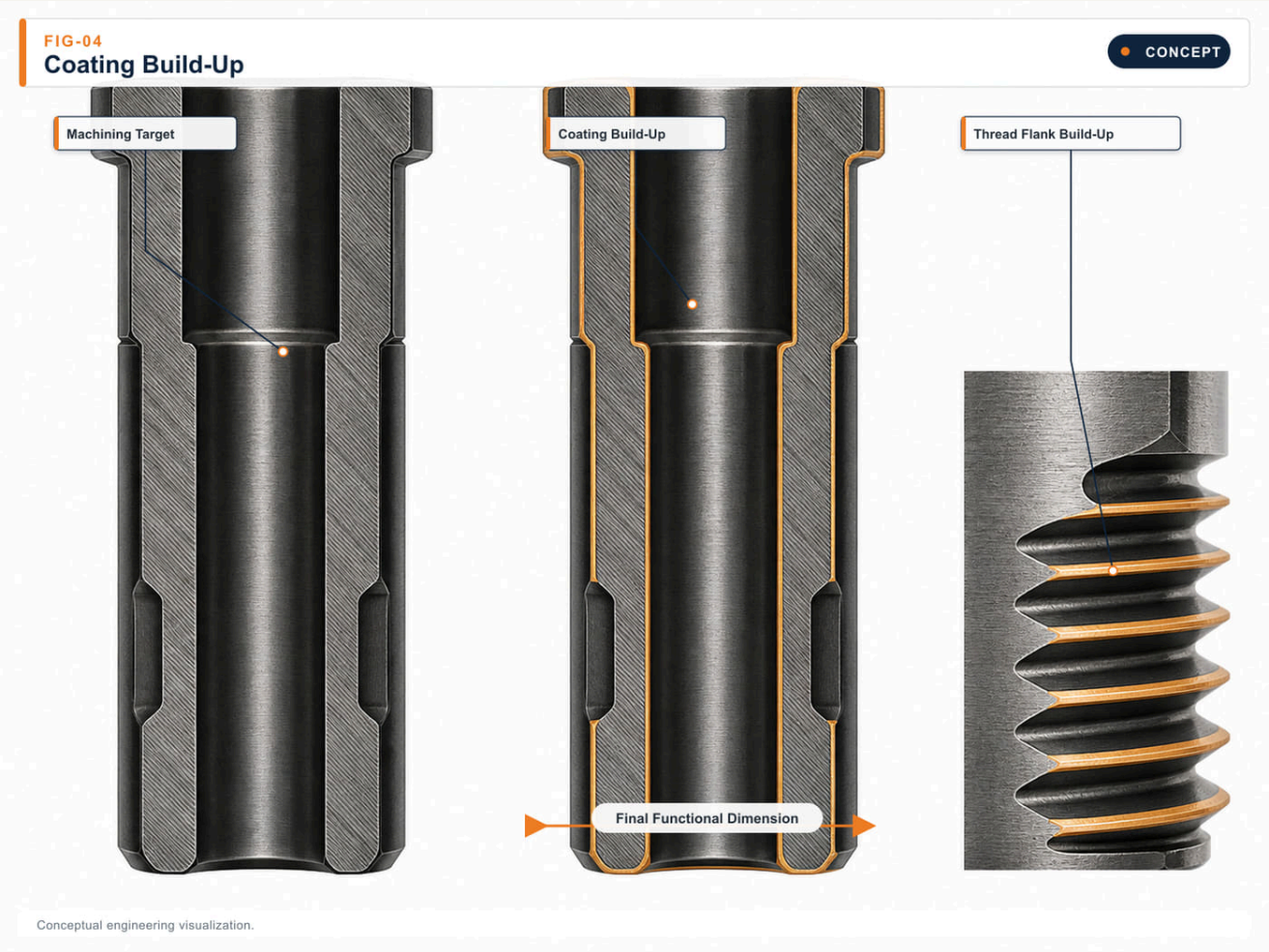


FIG-04 · 技術図 — FIG-04。コーティングのビルドアップと最終機能寸法。概念的な技術図であり、コーティング厚さや量産能力を示すものではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.5 GD&T：同軸性と支持面形状を無視できない

ボルト締結体の研究は、非平行な支持面が締付過程と予荷重挙動に影響することを示しています。[R4]

ピボットハードウェアでは、次をレビューすることを推奨します。

- 機能軸部の中心軸
- ボルト頭部の座面
- ショルダー面
- ねじ中心軸
- スペーサー端面
- リンケージ座面

重要CTQには、次が含まれます。

- 直角度
- 振れ
- 位置度
- 平面度

- 平行度

目的は「図面を複雑にする」ことではなく、荷重経路に実際に影響する幾何関係を測定可能な工学言語へ変換することです。

2.6 荷重経路とFEA：最大応力コンターだけに依存しない

有効なピボットFEAでは、次を明示する必要があります。

- フレーム / リンク形状
- 接触条件の定義
- ベアリングのモデル化
- ボルト予荷重
- 摩擦
- 境界条件
- 荷重方向
- 衝撃 / 制動 / ペダリング条件
- 材料
- メッシュ収束性
- 局部フィレット応力
- ねじ逃げ部のリスク

2022年のフルサスペンション・ダウンヒル自転車フレーム研究は、対称 / 非対称荷重、故障箇所、構造改善を論じ、実際の自転車フレーム荷重を単一の理想化した静的条件だけで表せないことを示しています。[R7]

したがって、V2.0は「15 kN」を一般的なピボット標準荷重として記述しません。

正しい表現：

> [MODEL] **顧客が定義した等価荷重条件で、基準構造と最適化構造の応力、変位、安全余裕を比較する。最終的なシステム寿命は締結体 / フレームレベルの検証で確認する。**

2.7 フィレット、ねじ逃げ、応力集中

ピボットハードウェアで一般的な高リスク箇所は、次のとおりです。

- 頭部から軸部への遷移部
- ショルダー段差
- 中空穴の終端
- ねじ逃げ部
- 工具駆動部付近の小断面

最適化手段：

- 適切なフィレット半径
- 急激な段差を避ける
- 主要せん断面をねじ領域の外へ移す
- 中空部の終端を最適化する
- 加工痕を管理する

「応力を22%低減」のような数値は、必ず次と結び付ける必要があります。

- 基準形状
- 最適化形状
- 荷重
- メッシュ
- 材料
- FEAレポート

それ以外は [TARGET] としてのみ保持します。

2.8 ねじ転造と疲労：科学的根拠はあっても過度に外挿しない

2025年の研究は、42CrMo4+QT、M12ねじ試験片について切削ねじ、転造ねじ、深転造ねじを比較しました。特定の試験条件下で、転造ねじの疲労強度が高いことを報告し、残留応力、表面、硬さの状態と関連付けています。[R3]

この公開結果は、次を支持します。

> **ねじ製造プロセスは疲労性能へ大きく影響し得る。**

ただし、次のように直接記述することはできません。

> 「PremFixer Fastenersの転造ねじは疲労をXX%改善する。」

PremFixer Fastenersがこの主張を成立させるには、次を完了する必要があります。

- 材料の厳密な特定
- 熱処理
- ねじ形状の厳密な特定
- 切削ねじと転造ねじの試験片
- 可能であれば表面状態 / 残留応力
- 疲労試験
- 破壊位置

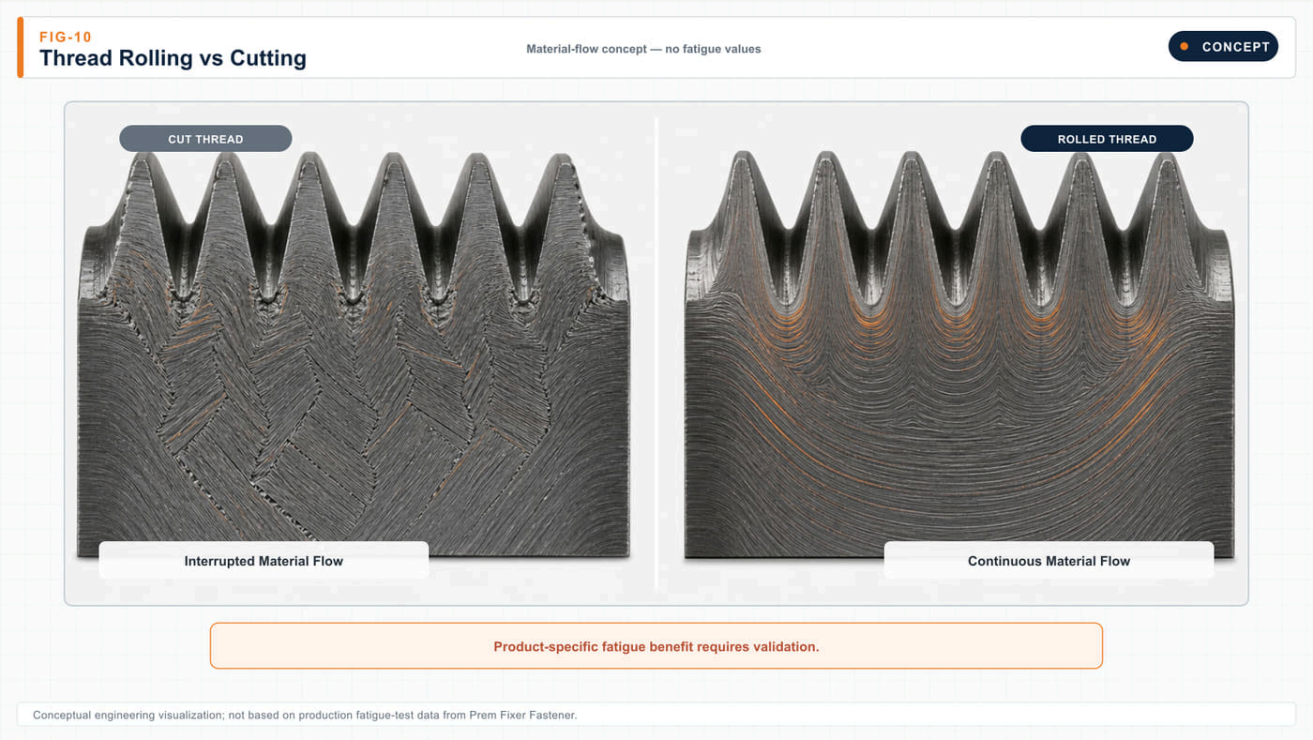


FIG-10 · 技術図 — FIG-10。切削ねじで分断された材料流れと、転造ねじの連続した材料流れの概念比較。製品固有の疲労上の利点には検証が必要です。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

2.9 重量の経済性：軽量化は単なる「中空化」ではない

軽量化の価値は、次から生まれます。

- 完成車重量の競争力
- 製品仕様表
- プレミアムモデルの差別化
- マーケティングストーリー
- ライダーの知覚
- コンポーネント統合

ただし、工学的境界は次のとおりです。

$$\text{Minimum Mass} \quad \text{subject to} \quad \text{Strength, Fatigue, Clamp, Service, Corrosion Constraints}$$

中空穴設計では、次を確認する必要があります。

- 残存肉厚
- せん断
- 引張
- 疲労
- 座屈 / 局部安定性

- 工具駆動部のトルク容量
- 製造ばらつき
- 腐食余裕

計算例の修正

基準ピボットBOMが180 g、最適化後が95 gの場合：

$$\frac{180-95}{180}=47.2\%$$

したがって「35%軽量化」とは記述できません。

35%を主張する場合：

$$180\times(1-0.35)=117g$$

V2.0では、公開するすべての比率について、計算とエビデンスの両面からレビューします。

本章のエビデンスボックス

外部

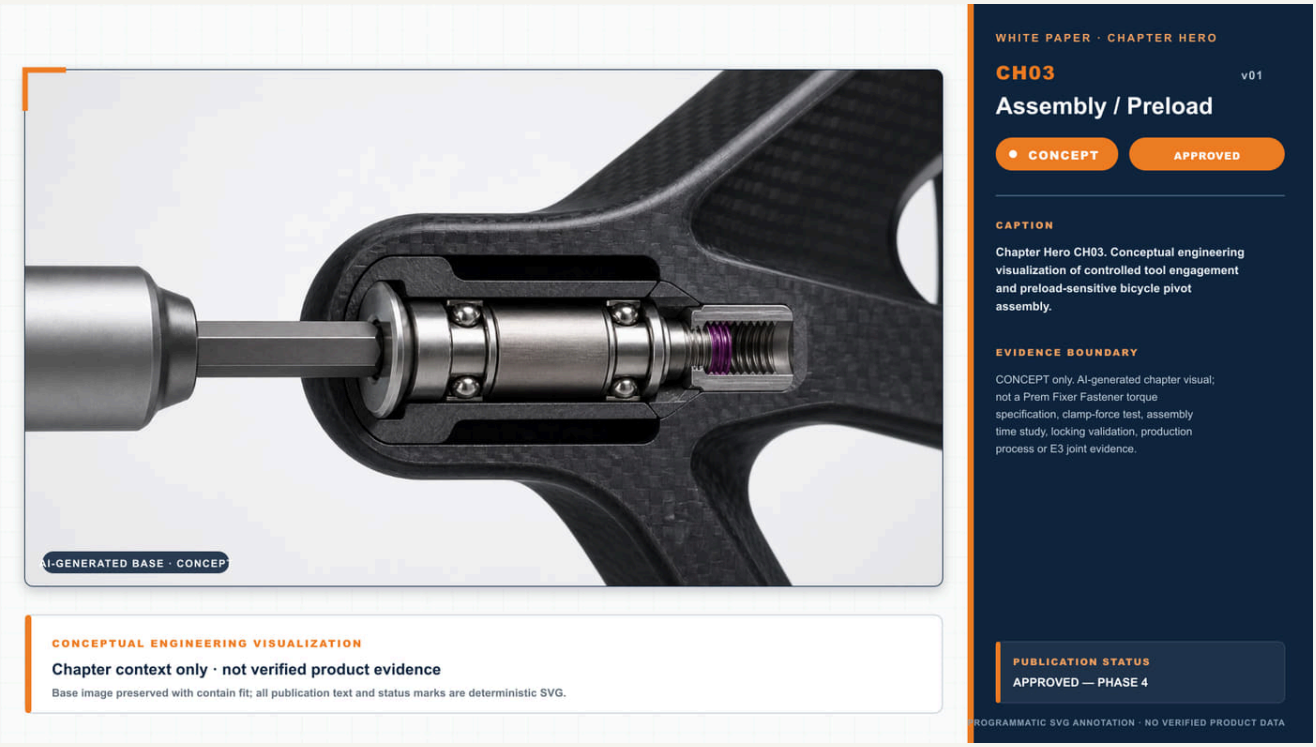
- ベアリングのフレッティング機構：[R5][R6]
- 非平行支持面の影響：[R4]
- フルサスペンションフレーム荷重研究：[R7]
- ねじ製造と疲労の研究：[R3]

PremFixer Fasteners

- 軸部能力：PF-PIVOT-C02-001 / E0 → MSA + Cpk
- コーティングのビルドアップ：C02-003 / E0 → 対応測定
- FEA定量改善：C02-006 / E0-E1
- 軽量化：C02-007/008 / E0 → 実BOM重量
- 転造の疲労上の利点：C08-007 / E0 → 自社疲労データ

第3章：組立効率、トルク–締付力、動的緩み止め

3. 組立効率、予荷重管理、緩み止め



CH03 · チャプターヒーロー — CH03。管理された工具係合と、予荷重に敏感な自転車ピボット組立を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

3.1 工学的事実：トルクはプロセス入力にすぎない

ねじ締結体では、取付トルクの主な役割は締付力を発生させることです。

簡略関係式：

$$T=KFd$$

ここで：

- T：トルク
- F：締付力 / 予荷重
- d：呼び径
- K：摩擦の総合影響

ただし、Kは固定された材料定数ではありません。

次の要因に影響されます。

- ねじ部摩擦
- 頭部下面 / 座面摩擦
- コーティング
- 潤滑剤
- ねじロック剤
- 表面粗さ
- 繰返し締付
- 相手材
- 締付速度

Croccoloらのトルク–予荷重関係の研究は、予荷重形成における摩擦係数の重要性を強調しています。[R2] ISO 16047は、ねじ締結部品のトルク / 締付力試験に対する標準試験枠組みを提供します。[R17]

したがって：

> **「10 N·m」は締結体性能ではなく、本質的には摩擦に影響されるプロセス指示です。**

3.2 最適締付ウィンドウ

締付不足

発生し得る現象：

- 締結体の微小すべり
- 自緩み
- フレッティング
- きしみ音
- ベアリング輪の移動
- 穴の摩耗

過大締付

発生し得る現象：

- ベアリング抵抗
- スペーサーの圧縮
- カーボン / インサートの局部過負荷
- ねじ山の破損
- 締結部品の降伏
- 取外し困難

目標

実際に確立すべきものは、次です。

> **トルク → 締付力分布 → 締結体の機能ウィンドウ**

「トルクが大きいほど安全」を追求することではありません。

公開研究は、予荷重不足と過大予荷重が、それぞれ異なる緩み、過負荷、疲労リスク境界に対応することを示します。[R1]

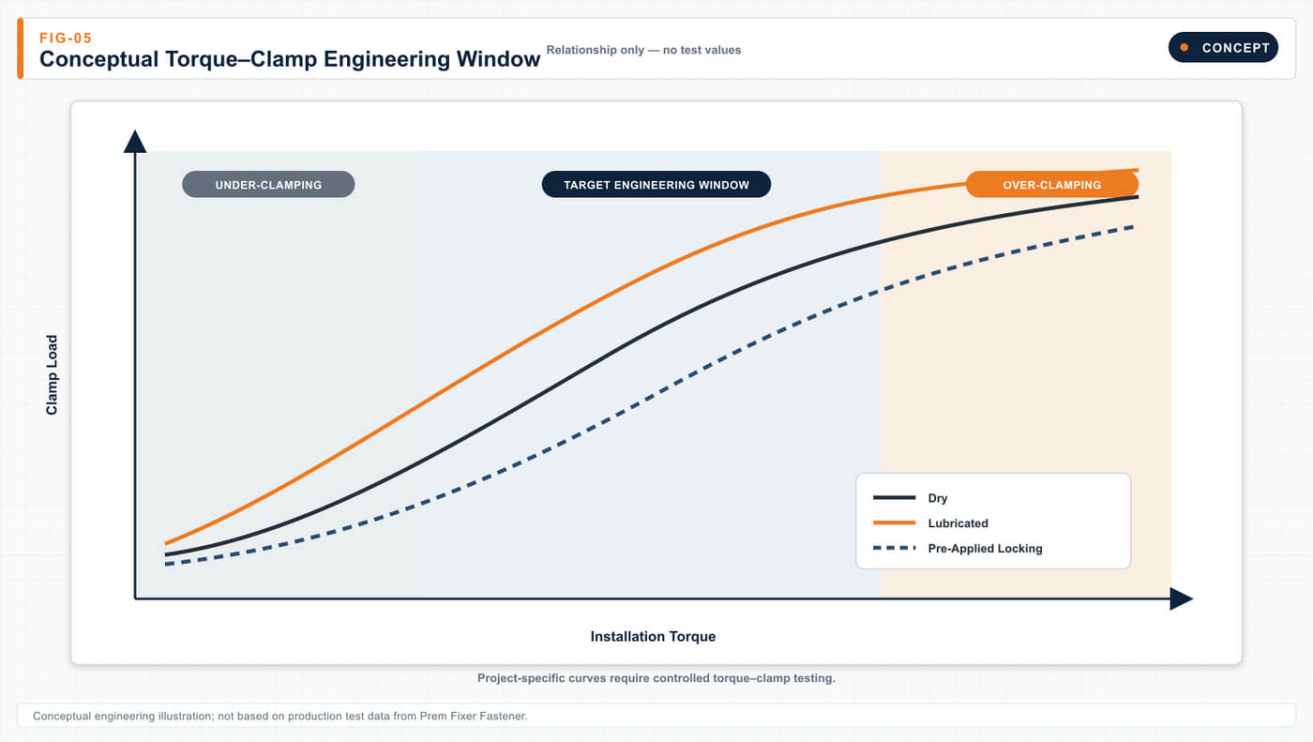


FIG-05 · 技術図 — FIG-05。概念的なトルク–締付力工学ウィンドウ。関係のみを示し、測定系列、トルク値、締付力結果は提示していません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

3.3 コーティング / 潤滑変更時はトルクを再検証する

サプライチェーンで次の変更があった場合：

- Zn → Zn-Ni
- 乾燥状態 → 潤滑状態
- パッチなし → 塗布済みパッチ
- 乾燥Ti → 焼付き防止剤
- ワッシャー表面を変更
- めねじインサートを変更

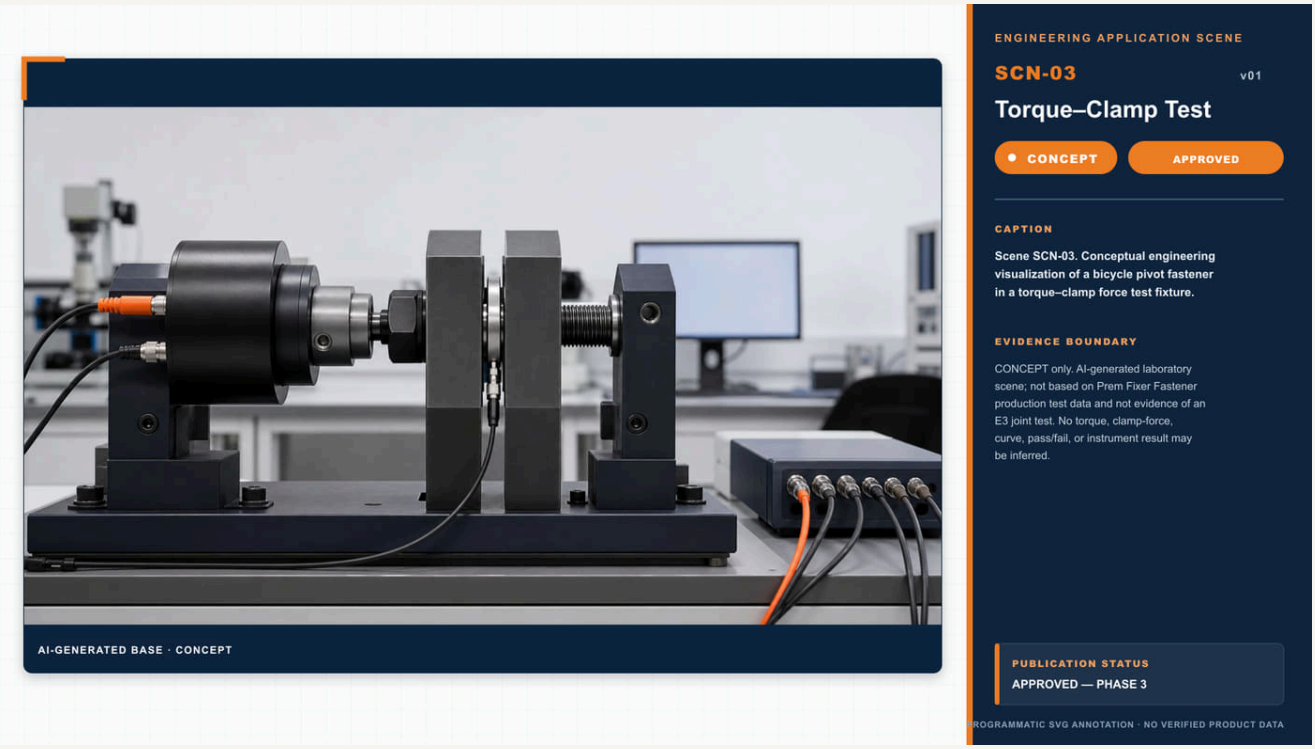
従来のトルクを自動的に継続使用すべきではありません。

V2.0は、次の設定を推奨します。

トルク–締付力リリース試験

最低限の出力：

- 平均締付力
- 最小値 / 最大値
- ばらつき
- トルク曲線
- 取外しトルク
- 故障モード



SCN-03 · 適用シーン — SCN-03。自転車ピボット締結部品をトルク–締付力試験治具に組み込んだ概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

3.4 工具駆動部の形状：造形ではなく組立インターフェース

内六角星形 / 六角穴の性能は、次に関係します。

- 深さ
- テーパー
- コーナー形状
- 同心度
- バリ
- 硬さ

- 工具のかかり

推奨検証：

工具駆動部の破損トルク

比較項目：

- 新品工具ビット
- 摩耗工具ビット
- 公称トルク
- 過大トルク余裕
- 軽微な芯ずれ

「なめ率≤0.05%」を出典のない固定的な主張にすることはできません。

維持する場合：

> [PF-VERIFY] **実際の組立PPMデータで証明する。**

3.5 塗布済みねじロック剤：化学品からプロセスインターフェースへ

Henkelの公開資料によれば、乾燥触感の塗布済みねじロック剤は、ボルトが組立ラインへ入る前に塗布でき、現場での追加塗布工程を減らします。一部のマイクロカプセル型製品は、組付け時の機械作用で活性成分を放出します。[R13][R14]

価値は次の2種類に分けられます。

プロセス価値

- 液剤を取る動作の削減
- 塗布量の標準化
- 塗り忘れの削減
- はみ出し汚染の削減
- 自動化への適合

締結体の価値

- 緩み止め機能の提供
- 一定のシール機能の提供
- 摩擦状態の変更

したがって、塗布済み接着剤は単に次を意味するのではありません。

> 「顧客に代わって青い接着剤を塗る。」

正しくは、次です。

> **トルク–締付力、保管寿命、塗布長さ、再使用規則に組み込むべき管理プロセス。**

3.6 「1台当たり1.5–2分短縮」は時間研究で決める

公開技術資料は、次を証明できます。

> 塗布済み方式により現場の個別塗布動作を省ける。[R13]

ただし、実際のタクト短縮は次に依存します。

- 1台当たりの対象部品数
- ラインレイアウト
- ボトル / ディスペンサー位置
- 作業者動作
- 検査
- 拭取り / 清掃
- 手直し

したがって、V2.0の正式表現は次です。

> [PF-VERIFY] **PremFixer Fastenersは、手作業による液剤塗布と塗布済み方式を同一ステーションで比較するタクト研究により、実際のタクト効果を確立する。**

3.7 横荷重と動的自緩み

ねじ締結部品の自緩みに関する研究は、長年、横方向の繰返し荷重を重視してきました。Yangらの実験研究は、予荷重が緩みと疲労に影響する重要変数であり、横荷重と緩み故障の間に重要な関係があることを示しています。[R1]

ISO 16130:2015の正式範囲は、航空宇宙シリーズにおける横荷重下のロック挙動の動的試験で、主に開発作業向けです。[R18]

したがって、V2.0では次のように使用します。

> **横振動比較試験の考え方を参考にし、自転車プロジェクト独自の治具、変位、周波数、初期締付力、合否基準を設定する。**

次のようには記述しません。

> 「自転車用ピボットボルトはISO 16130認証済みである。」

3.8 3000サイクル / ≤5%を業界の固定結論にしない

PremFixer Fastenersが将来、次を社内目標に選ぶことは可能です。

- 3000サイクル
- 残存締付力 ≥95%

ただし、次と結び付ける必要があります。

- 締結部品
- 締結体
- 初期締付力
- 変位
- 周波数
- コーティング
- ねじロック剤
- 治具
- サンプル数

最終発行時の形式は次のようにします。

> 「定義した横振動試験条件下で、仕様BはNサイクル後に初期締付力のX%を保持し、基準仕様AはY%であった。」

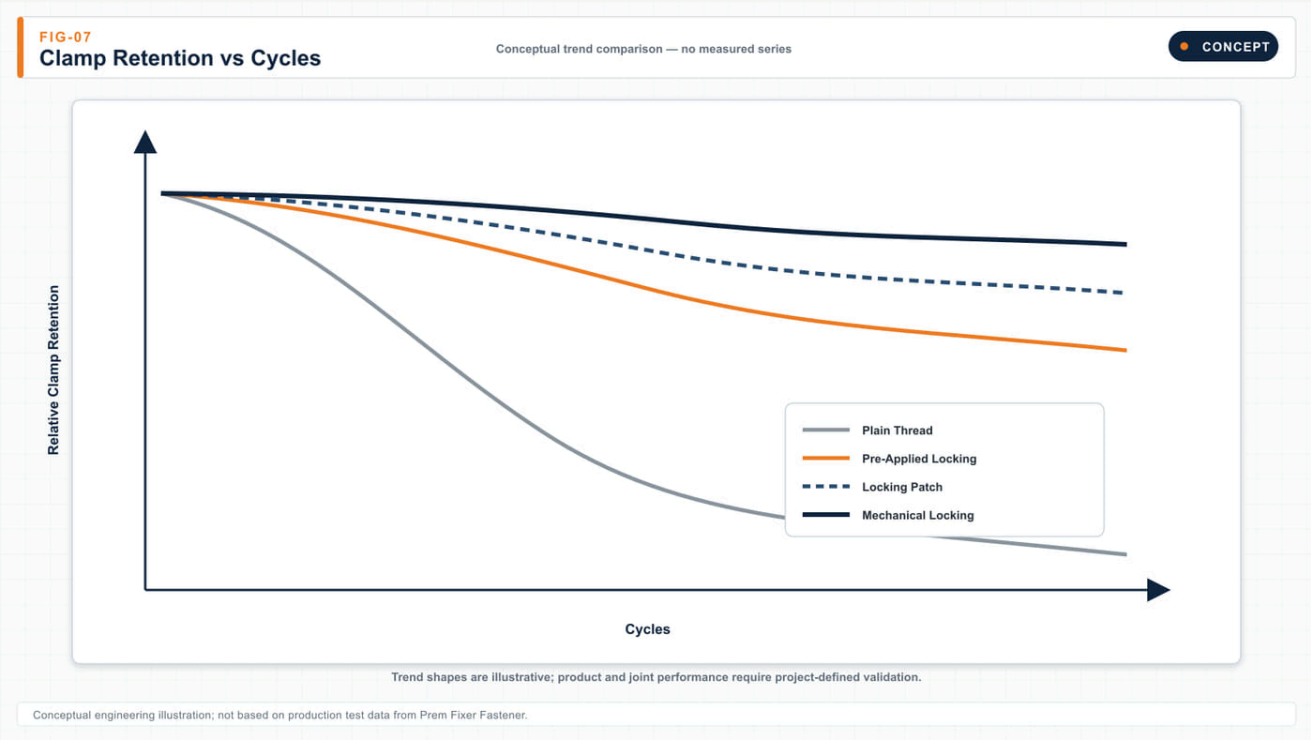


FIG-07 · 技術図 — FIG-07。締付力保持傾向の概念比較。曲線は説明用で、測定サイクル数、保持結果、製品固有の主張を含みません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

3.9 繰返し着脱：初回トルクは8回目を代表しない

繰返し締付に関する公開研究は、繰返し組立中に摩擦係数が変化することを示しています。[R15]

したがって「5–8回の繰返し着脱に対応」という表現には、次を定義する必要があります。

- 緩み止め技術
- サイクル数
- 取付トルク
- 初期緩めトルク
- 継続回転トルク
- ねじ状態
- コーティング摩耗
- 機能合否

整備頻度の高いMTBでは、最低限、次の比較を推奨します。

サイクル1 / 3 / 5 / 8の比較

ただし、最終サイクル数はマーケティング表現ではなく、プロジェクト要求で決定します。

3.10 OEM工学慣行：同じフレームでも「1種類の接着剤、1種類のトルク」ではない

Pivot Cyclesが公開するMach 429 SL V3のハードウェア模式図は、ハードウェア位置ごとに次を使い分けていることを示します。

- グリース
- ねじロック剤
- ボルト軸部のグリース + ねじ部のねじロック剤
- 焼付き防止剤
- はめ合い用接着剤
- トルク値

たとえば公開模式図では、M8上側リンク / ショック用ハードウェアとM14下側リンク用ハードウェアで、トルクとインターフェース処理が異なります。[R8]

この業界慣行は、V2.0の重要な結論を支持します。

> **締結体のリリース仕様では軸部処理、ねじ部処理、トルクを同時に定義し、ボルト図面だけで済ませてはならない。**

3.11 ピボット組立仕様書

顧客プロジェクトごとに、次の出力を推奨します。

```
ピボット位置:
締結部品PN:
図面Rev:
ベアリング:
スペーサー:
めねじ:
締結部品材料:
コーティング:
軸部潤滑:
ねじ部潤滑:
ねじロック剤:
焼付き防止剤:
保持剤:
取付トルク:
トルク公差:
締付力目標:
取り外しトルク:
再使用規則:
交換規則:
```

本章のエビデンスボックス

外部

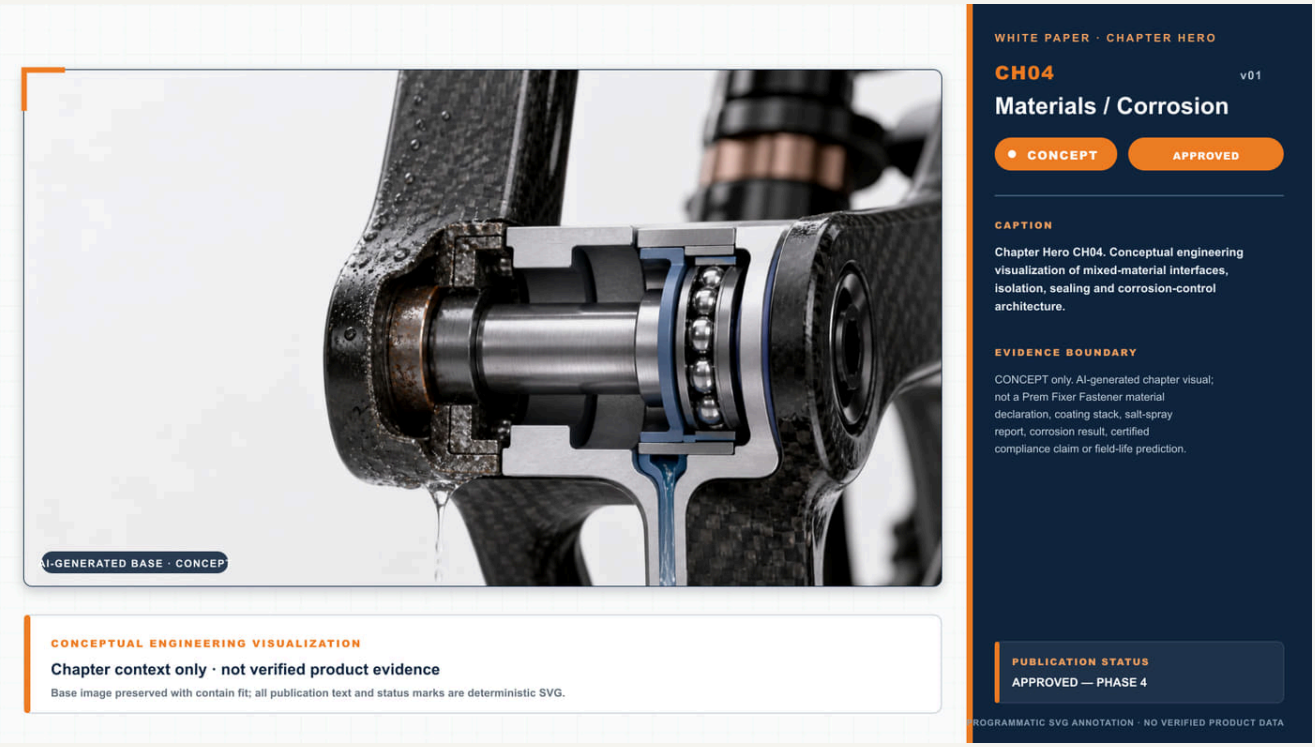
- 予荷重 / 緩み：[R1]
- トルク / 摩擦：[R2][R17]
- 繰返し締付：[R15]
- 塗布済みねじロック：[R13][R14]
- OEM組立処理：[R8]
- ISO 16130の範囲：[R18]

PremFixer Fasteners

- トルク–締付力：C03-007 / E0 → T08
- タクト短縮：C03-004 / E0 → 時間研究
- 振動：C03-008 / E0 → T11
- 再使用サイクル：C03-009 / E0 → T10
- 工具駆動部の不良率：C03-002 / E0 → 生産PPM

第4章：材料科学、表面工学、腐食

4. 材料、表面工学、腐食防止



CH04 · チャプターヒーロー — CH04。異種材料インターフェース、絶縁、シール、腐食管理アーキテクチャを示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

4.1 材料選定は「強度ランキング」ではない

ピボットの材料選定は、次の関数として考えるべきです。

f(
Strength,
Fatigue,
Density,
Corrosion,
Galling,
Coating,
Manufacturability,
Cost,
Serviceability
)

したがって、すべての車種に常に最適な単一材料は存在しません。

4.2 7075-T6アルミニウム：軽量化の価値と境界

適する用途：

- 質量を重視する用途
- 比較的大きな断面
- 中空軸設計
- 高価格帯の軽量仕様

注意事項：

- 表面処理のビルドアップ
- ねじ強度
- 疲労
- 局部ベアリング面圧
- インターフェース腐食
- 整備時の損傷

正しい訴求は、次ではありません。

> 「航空用アルミだから必ず安全である。」

正しくは、次です。

> **定義した形状と検証条件の下で、低い密度により必要な構造能力を得る。**

4.3 Ti-6Al-4V / グレード5：プレミアムでもメンテナンス不要ではない

チタン合金の価値には、次が含まれます。

- 高い比強度
- 耐食性
- 高価格帯材料としての位置付け

一方、公開トライボロジー研究は、チタンが摩擦とかじりに敏感で、潤滑方法が摩擦とかじり挙動に大きく影響すると指摘しています。[R12]

したがって：

> **「チタンは耐食性がある」は「チタンねじを無潤滑で組み立てるべき」を意味しません。**

設計時に同時検証すべき項目：

- 潤滑剤 / 焼付き防止剤
- コーティング
- めねじ材
- 締付速度
- トルク–締付力
- 取外しトルク
- 繰返しサイクル

4.4 合金鋼：見落とされやすい水素脆化

高強度鋼は優れた強度と断面効率を持ちますが、電気めっき工程では水素脆化に注意する必要があります。

ISO 4042:2022は電気めっき鋼製締結部品の要求事項を規定し、水素脆化リスクを低減するための要求と推奨を明記しています。ISO 4042:2022/Amd 1:2026は2026年に発行されました。[R20][R21]

また：

- ISO 15330は水素脆化検出に関する予荷重試験の経路を提供します。[R22]
- ISO/TR 20491は鋼製締結部品の水素脆化に関する基礎メカニズムを示します。[R23]

したがって、高強度鋼製ピボット部品のリリースを次だけで判断してはなりません。

> 硬さ + 塩水噴霧

併せて確認すべき項目：

- 鋼種
- 引張強さ（UTS） / 硬さ
- 洗浄 / 酸洗
- 電気めっき工程
- ベーキング開始までの時間（該当する場合）
- ベーキング工程（該当する場合）
- サプライヤー管理
- ロットトレーサビリティ
- 検出 / 検証方法

4.5 ステンレス鋼：具体的な鋼種と強度区分を記載する

ISO 3506-1:2020は、耐食ステンレス鋼製ボルト / 小ねじ / 植込みボルトの機械的・物理的特性を分類しています。[R25]

したがって、次だけを記載すべきではありません。

> 「ステンレス鋼製ピボットボルト」

次を明確にします。

- 正確な鋼種
- 強度区分
- ねじ
- 冷間加工 / 熱処理状態
- 腐食環境
- かじり挙動

4.6 コーティングは色ではなく、多目的システムである

表面工学は、少なくとも次に同時に影響します。

- 腐食
- 摩擦
- 摩耗
- 外観
- 寸法
- ねじのはめあい
- トルク–締付力
- 取外し性
- 化学物質適合性

たとえばISO 4042の電気めっき鋼製締結部品用コーティングシステムは、腐食だけでなく、寸法、トップコート、潤滑剤、水素脆化リスクにも関係します。[R20]

ISO 10683:2018は鋼製締結部品向けの非電解亜鉛フレークコーティングシステムを対象とします。[R24]

4.7 塩水噴霧：有用だが誤用されやすい試験

ISO 9227の公開説明は明確です。

塩水噴霧法は、次に使用できます。

- 防食品質が維持されているかの確認
- コーティング欠陥の検出

ただし：

- 異なる材料の長期耐食性を単純に順位付けする用途には適しません
- 長期の実腐食寿命を予測する用途には適しません。[R19]

したがって、次の表現は削除します。

> 「200時間の塩水噴霧＝2年間の走行寿命。」

4.8 2026年の新しいボルト塩水噴霧エビデンス：ISO/TR 19852

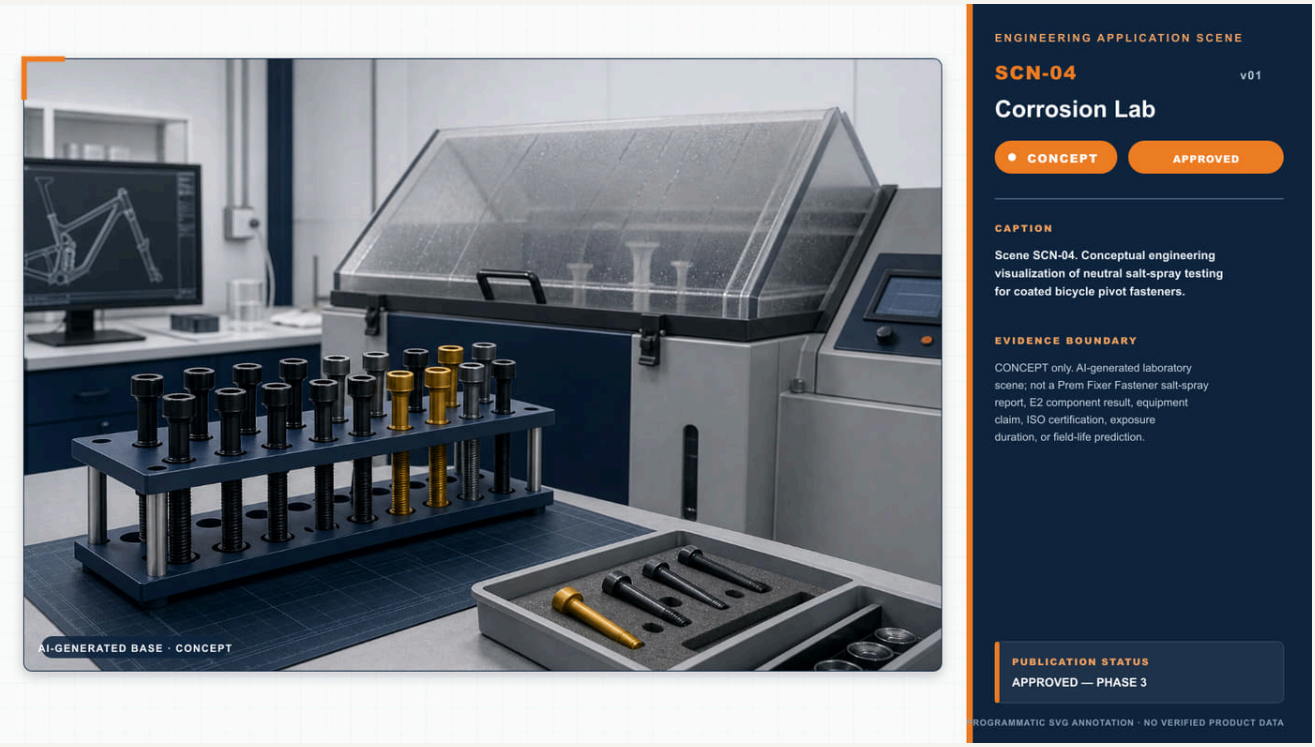
ISO/TR 19852:2026はM6×50コーティングボルトを対象に中性塩水噴霧の国際ラボ間試験を実施し、灰色皮膜、白さび、赤さびなどを記録して、ラボ間の再現性に焦点を当てています。[R26]

本ホワイトペーパーにとっての意味は、次です。

> **塩水噴霧レポート自体にも「試験品質のエビデンス」が必要である。**

今後のPremFixer Fasteners塩水噴霧エビデンスパックには、次を記録します。

```
試験所:
試験槽:
母材:
コーティング:
前処理:
膜厚:
試験種別:
温度:
pH / 採取条件:
サンプル数:
設置方向:
観察間隔:
白色腐食判定基準:
赤錆判定基準:
報告書番号:
```



SCN-04 · 適用シーン — SCN-04。コーティングされた自転車ピボット締結部品の中性塩水噴霧試験を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

4.9 従来の黒色処理と高性能コーティング：無条件の時間値を使わない

V1.0では、次を使用していました。

> 黒色処理 <24 h
> 高性能コーティング 96–200 h

V2.0では、次に変更します。

> **同一母材、同一試験片形状、同一ISO 9227方法で、具体的なコーティング構成を並行試験する。**

将来の結果が次の場合：

- A = 24 h
- B = 192 h

発行時には次のように記載します。

> **「この具体的試験では……」**

すべての黒色酸化処理またはPVDの材料特性へ一般化しません。

4.10 サイクル腐食：実環境に近い開発ツール

MTB環境は一定の塩水噴霧ではなく、一般に次のように変化します。

湿潤 → 泥 → 乾燥 → 洗浄 → 塩分 → 温度変化 → 振動

したがって、上位プロジェクトではサイクル環境試験の設定を検討できます。

現行ISO体系にも、より複雑な条件でコーティング性能を評価する湿潤 / 塩水噴霧 / 乾燥 / 高湿などのサイクル腐食試験法があります。[R27]

自転車プロジェクトでは、なお次に基づき用途別サイクルを設定します。

- 走行地域
- 冬季の塩分
- 洗浄方法
- 湿度
- 泥への曝露

4.11 CFRP + アルミニウム：ガルバニック腐食をピボットDFMへ組み込む

公開研究は、電解質が存在するとCFRPとアルミニウムが強いガルバニック対を形成し、アルミニウム側の腐食を加速し得ると指摘しています。[R11]

これは、次の材料が共存し得るプレミアムカーボンMTBで重要です。

- カーボンフレーム
- アルミニウム製リンケージ / インサート
- チタン / 鋼製ハードウェア
- ステンレス鋼製ベアリング

リスクは「異なる材料を並べれば必ず腐食する」ためではなく、次の3条件が同時に必要です。

1. 電位の異なる材料
2. 導電接続
3. 電解質

したがって、対策は次です。

- 電気的絶縁
- バリアコーティング
- 絶縁ワッシャー / スリーブ
- シール
- 排水
- 必要に応じたグリース / 焼付き防止剤
- すきま部の滞水を最小化

4.12 ポリマー絶縁：検証候補として採用できる

関連する複合材 / 金属ボルト締結体の研究は、ポリマー絶縁によってガルバニック結合リスクを低減できるという工学的考え方を検証しています。[R28]

論文の材料系は自転車と完全には同じではありませんが、次を支持します。

> **電気的絶縁はピボットシステムのDFMに組み込む価値がある、検証可能な方策である。**

最終的には、PremFixer Fasteners / 顧客の実材料組合せで環境試験を行う必要があります。

本章のエビデンスボックス

外部

- Tiのかじり：[R12]
- CFRP/Alのガルバニック腐食：[R11]
- ポリマー絶縁：[R28]
- ISO 4042 / 水素脆化：[R20]-[R23]
- ISO 9227：[R19]
- ISO/TR 19852：[R26]
- ISO 10683：[R24]
- ISO 3506-1：[R25]

PremFixer Fasteners

- 材料MTCの対応付け：C04-001/002/003/004 / E0
- 特定コーティングの塩水噴霧：C04-006 / E0 → E2
- Zn-Ni構成：C04-007 / E0
- Tiの取外し / かじり：C04-011 / E0 → E3
- 水素脆化管理：C04-012 / E0 → サプライヤー / 工程エビデンス

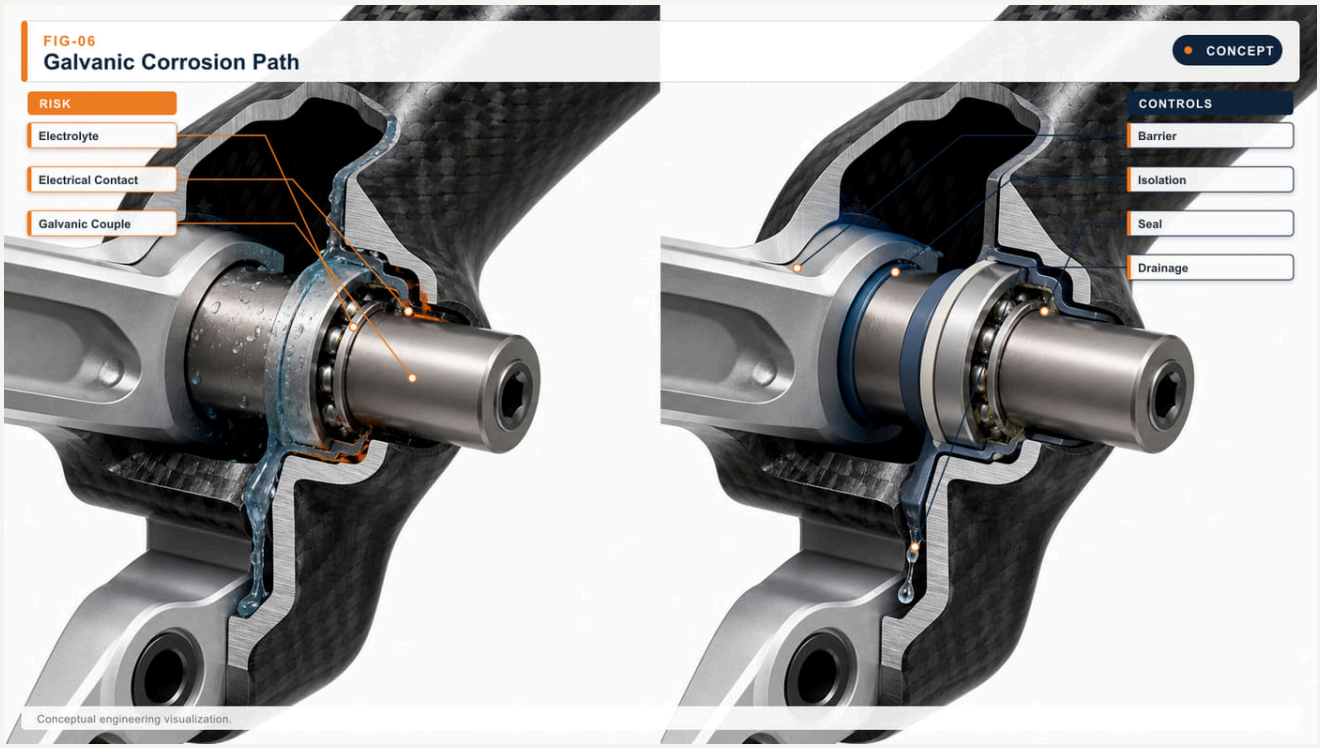
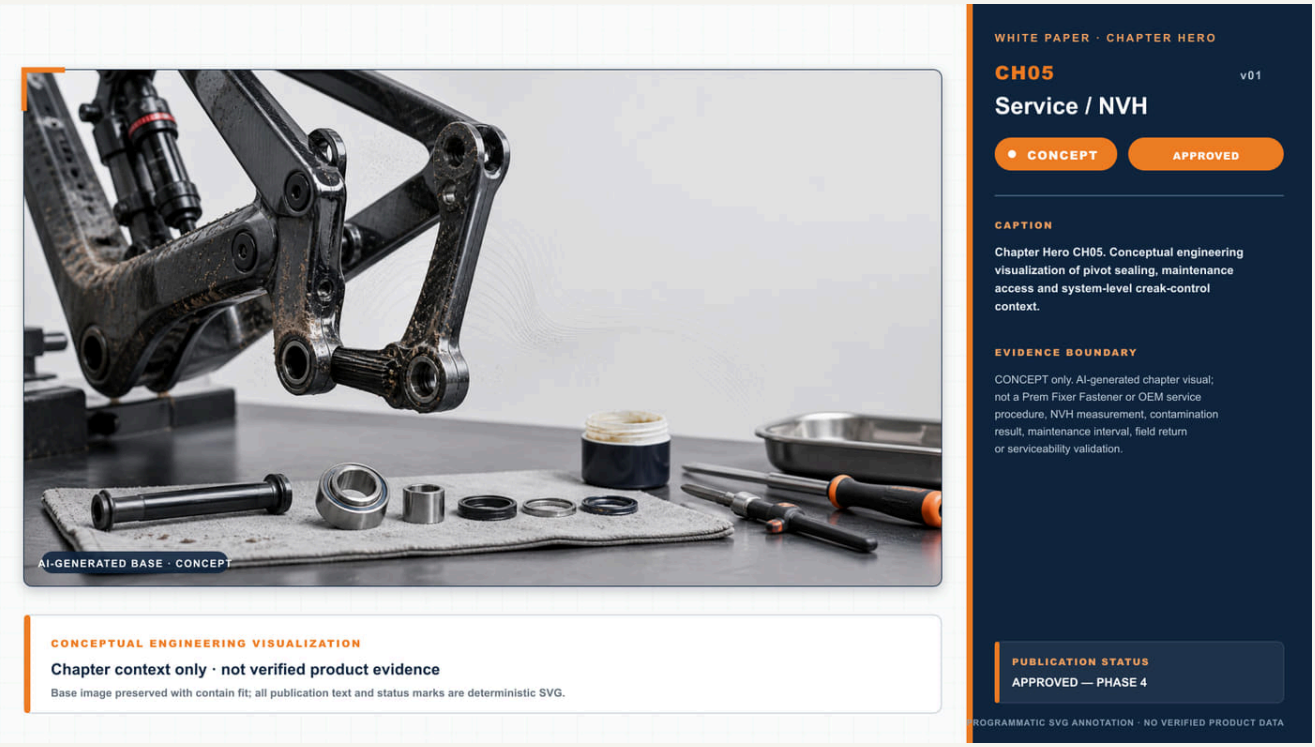


FIG-06 · 技術図 — FIG-06。ガルバニック腐食経路と絶縁方策。概念的な技術図であり、検証済みの合金組合せや腐食結果を示すものではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

第5章：シール、汚染、NVH、整備性

5. 汚染防御、異音管理、整備性



CH05 · チャプターヒーロー — CH05。ピボットシール、整備アクセス、システムレベルの異音管理背景を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

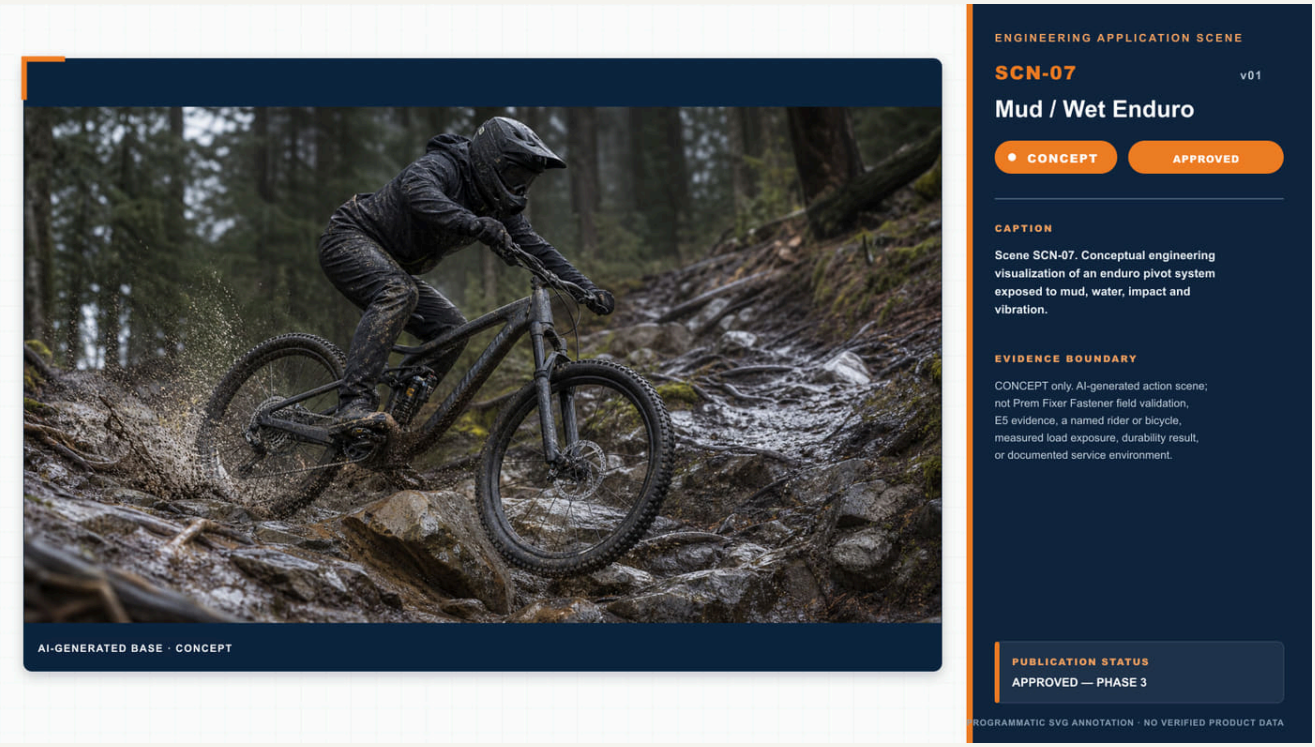
5.1 MTBの実環境はラボではない

ピボットシステムが実際に直面する環境：

- 水
- 泥
- 微細粉じん
- 砂
- 汗
- 路面凍結防止塩
- 脱脂剤
- 自転車用洗浄剤
- 高圧洗浄
- 温度変化

ベアリング工学資料は、湿気と微小運動のいずれもベアリング損傷 / フレッティング型故障を促進し得ると指摘します。[R5][R6]

Santa Cruzの公開整備ガイドは、湿潤、砂地、粉じんの多い環境ではピボットベアリングをより頻繁に点検する必要があると明記しています。[R9]



SCN-07 · 適用シーン — SCN-07。泥、水、衝撃、振動にさらされるエンデューロ用ピボットシステムの概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

5.2 多層汚染防御

シール設計を複数の防護層として捉えることを推奨します。

レイヤー1 — 外部形状

水と泥を遮る

レイヤー2 — Oリング / シールワッシャー

直接侵入経路を減らす

レイヤー3 — ラビリンス

汚染経路を長くする

レイヤー4 — ベアリングシール

最後の防御線

レイヤー5 — グリースバリア

潤滑 + 追加の汚染遮断

レイヤー6 — 排水

完全には避けられない水を排出する

設計原則：

> **1つのシールですべての汚染メカニズムを解決しようとしない。**

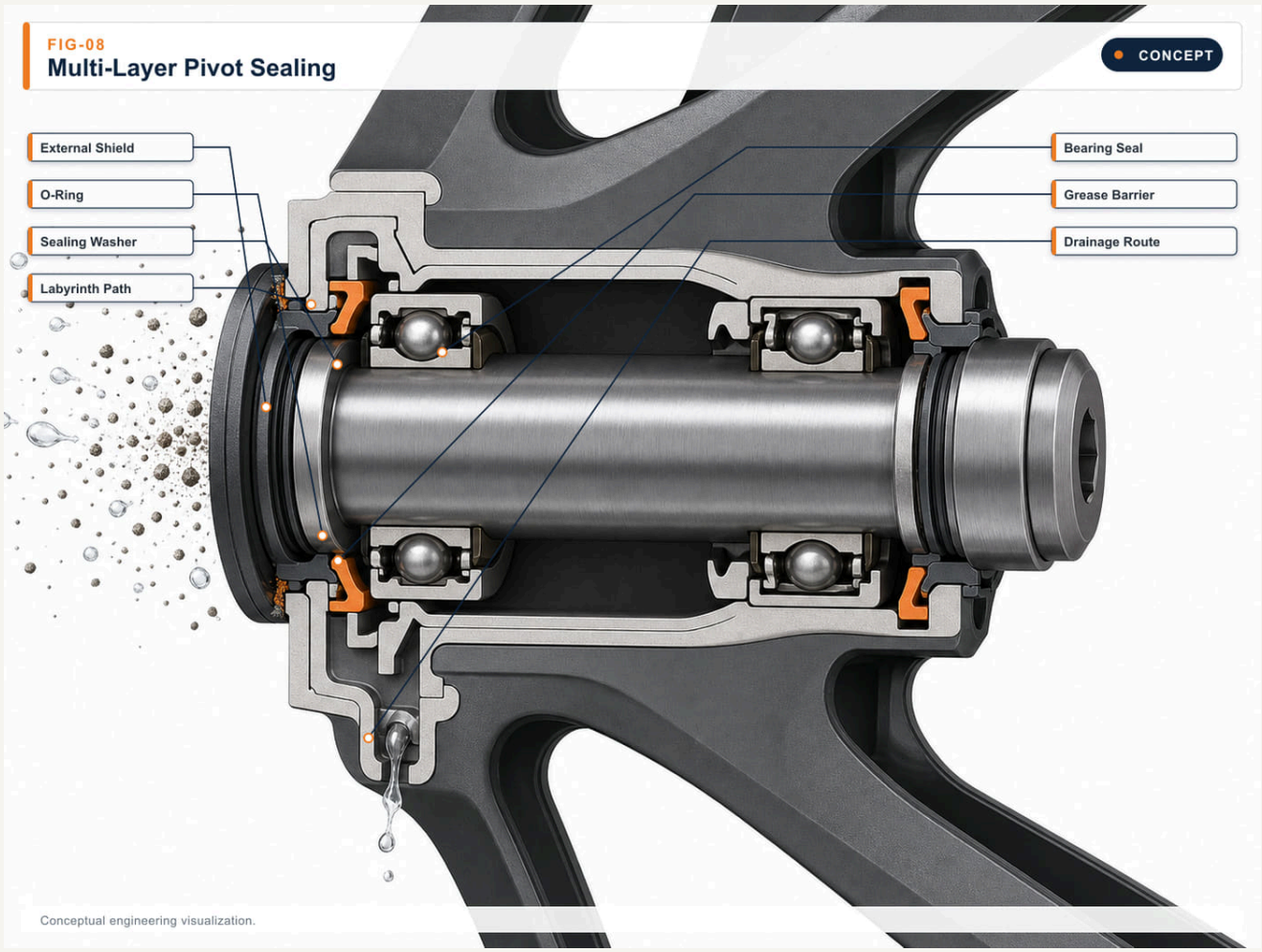


FIG-08 · 技術図 — FIG-08。多層ピボットシール構成。概念的な技術図であり、侵入、洗浄、耐用寿命の検証済みエビデンスではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

5.3 高圧洗浄

高圧水流は、次を引き起こす可能性があります。

- シールリップを越える

- グリースを希釈 / 洗い流す
- 洗浄剤を内部へ運ぶ
- ベアリング腐食を促進する

したがって、社内で次を設定できます。

洗浄 / 侵入開発試験

出力：

- 質量 / 浸水量
- ベアリングの感触
- 腐食
- グリース状態
- 回転トルク

5.4 きしみ音はシステム症状である

Santa Cruzの現行公開きしみ音トラブルシューティング資料は、汚れた / 摩耗したベアリングを一般的な異音原因の1つとして直接挙げています。[R29]

工学的には、ピボットのきしみ音は次から発生し得ます。

- ベアリング内輪 / 軸
- ベアリング外輪 / フレーム
- スペーサー
- ショルダー面
- ワッシャー
- ボルト頭部座面
- ねじ
- インサート
- リンク
- 乾燥接触

したがって：

> **きしみ音を単純に「ボルトが緩んだ」と診断してはなりません。**

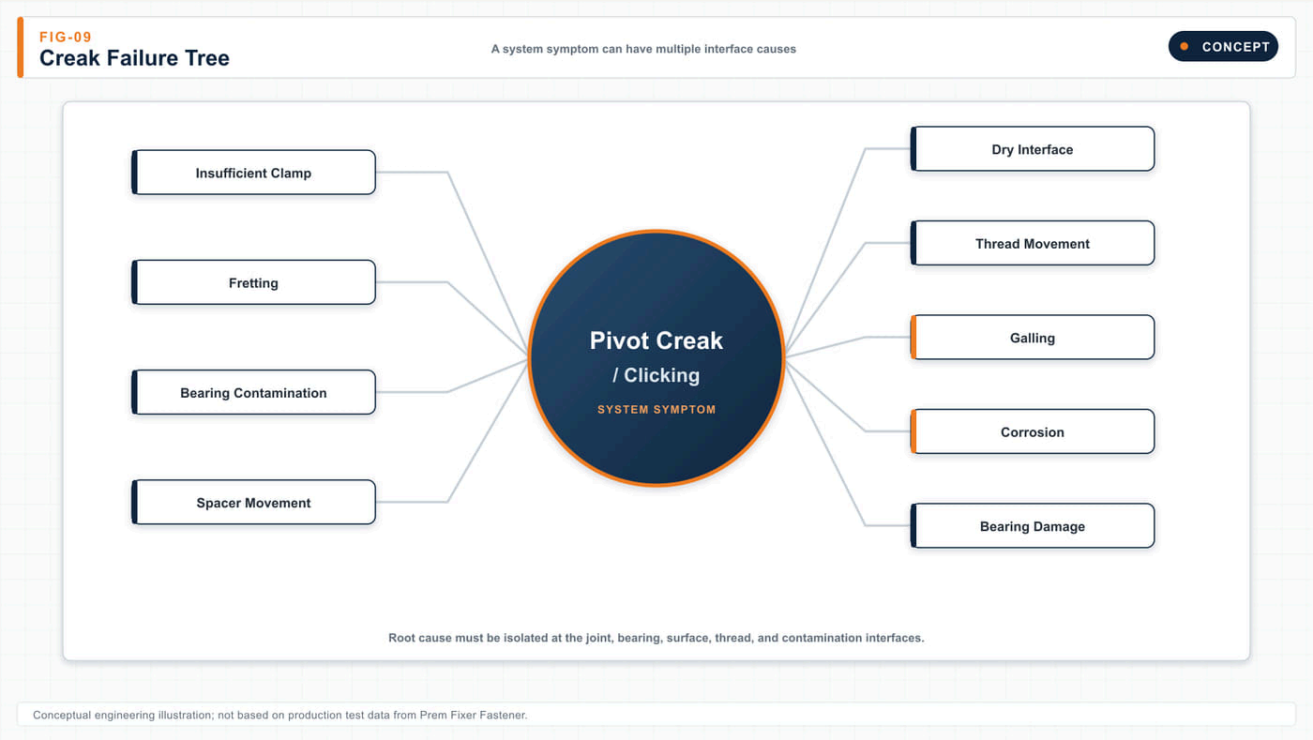


FIG-09 · 技術図 — FIG-09。複数のインターフェース原因を示す概念的なピボット異音故障ツリー。診断枠組みであり、故障率エビデンスではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

5.5 微小すべりとフレッティング

微小な相対運動は、次を引き起こす可能性があります。

- 表面皮膜を破壊する
- 摩耗粉を生成する
- 接触摩擦を変える
- すきまを増加させる
- 騒音を発生させる
- 腐食を促進する

管理方策：

- 適切な予荷重
- 機能的なはめあい
- 安定した支持面
- 表面状態
- 適切な潤滑
- 緩み止め
- 汚染管理

5.6 ベアリング–軸–スペーサーの機能スタック

すべてのピボット設計は、次に答えられる必要があります。

1. どのベアリング輪を締め付けるか。
2. どの部品が相対回転する必要があるか。
3. どのインターフェースがせん断を負担するか。
4. ねじ部が主要せん断面へ入っているか。
5. スペーサーが軸方向荷重経路をどのように閉じるか。
6. トルクがベアリングへ異常な横荷重を加えるか。

正しい荷重経路はCAD / 断面図で直接表現します。

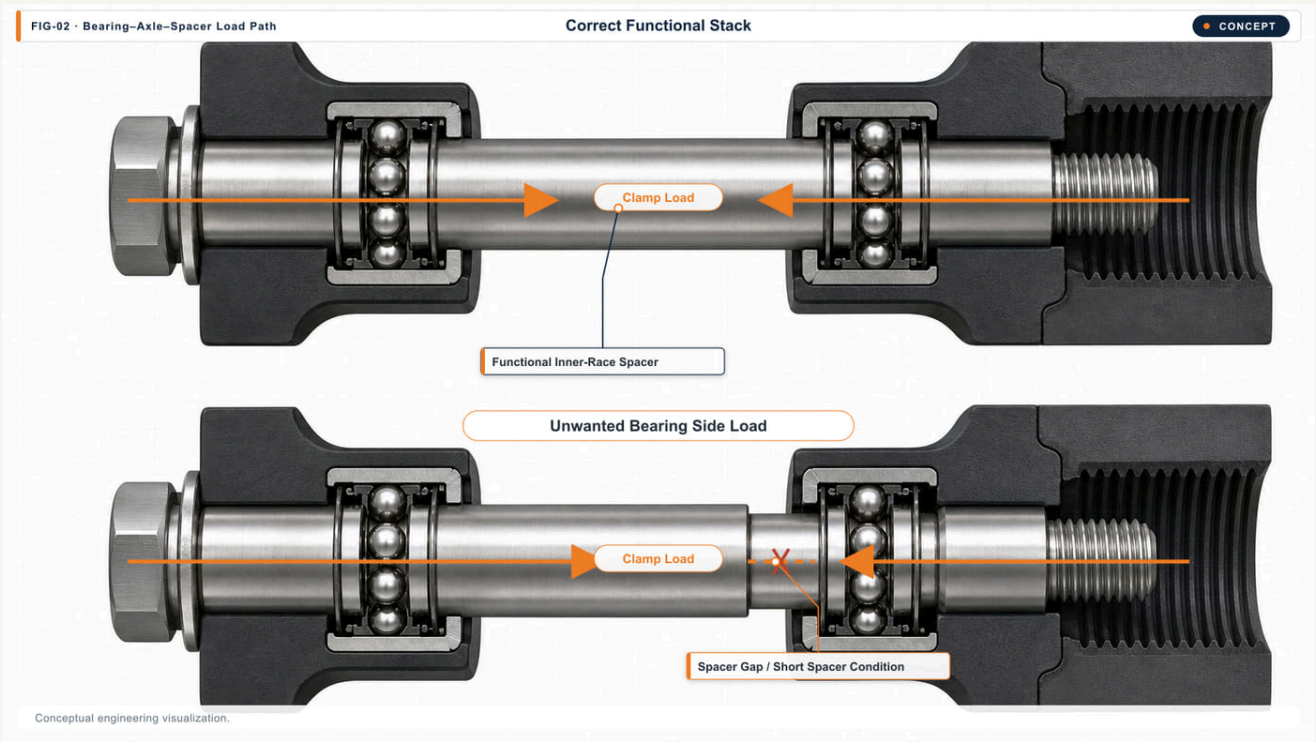


FIG-02 · 技術図 — FIG-02。ベアリング–軸–スペーサーの機能荷重経路と、短いスペーサーによる横荷重状態。概念的な技術図であり、定量化した力またはリリース済み構成を示すものではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

5.7 整備性：3回目の分解が真の試練である

フレーム設計では、次だけを問うべきではありません。

> 「工場で初回組立ができるか。」

さらに次を問う必要があります。

> 「2年間走行した後、自転車店で正常に分解できるか。」

重要指標：

- 工具アクセス
- 工具駆動部の耐久性
- 取外しトルク
- 腐食による固着
- かじり
- 脱落防止部品
- 部品識別
- 交換部品の入手性
- 再使用規則

5.8 OEM整備は整備性が実際の要求であることを示す

Santa Cruzの公開整備ガイドは、ピボット軸 / ベアリングの定期点検と潤滑の考え方を示しています。[R9] Specializedの一部現行フルサスペンション製品は、サスペンションピボットベアリングの長期交換サポートを提供します。[R10]

これは同社のベアリングが「低品質」であることを意味せず、次を示します。

> **プレミアムブランドはピボットベアリングを完成車ライフサイクルの整備対象部品として扱っている。**

したがって、本ホワイトペーパーは次を提案します。

整備性指数

評価項目：

- 工具の共通化
- アクセス性
- 取外し性
- ベアリング交換
- 交換キット
- トルク仕様
- 固着リスク
- 再組立の再現性

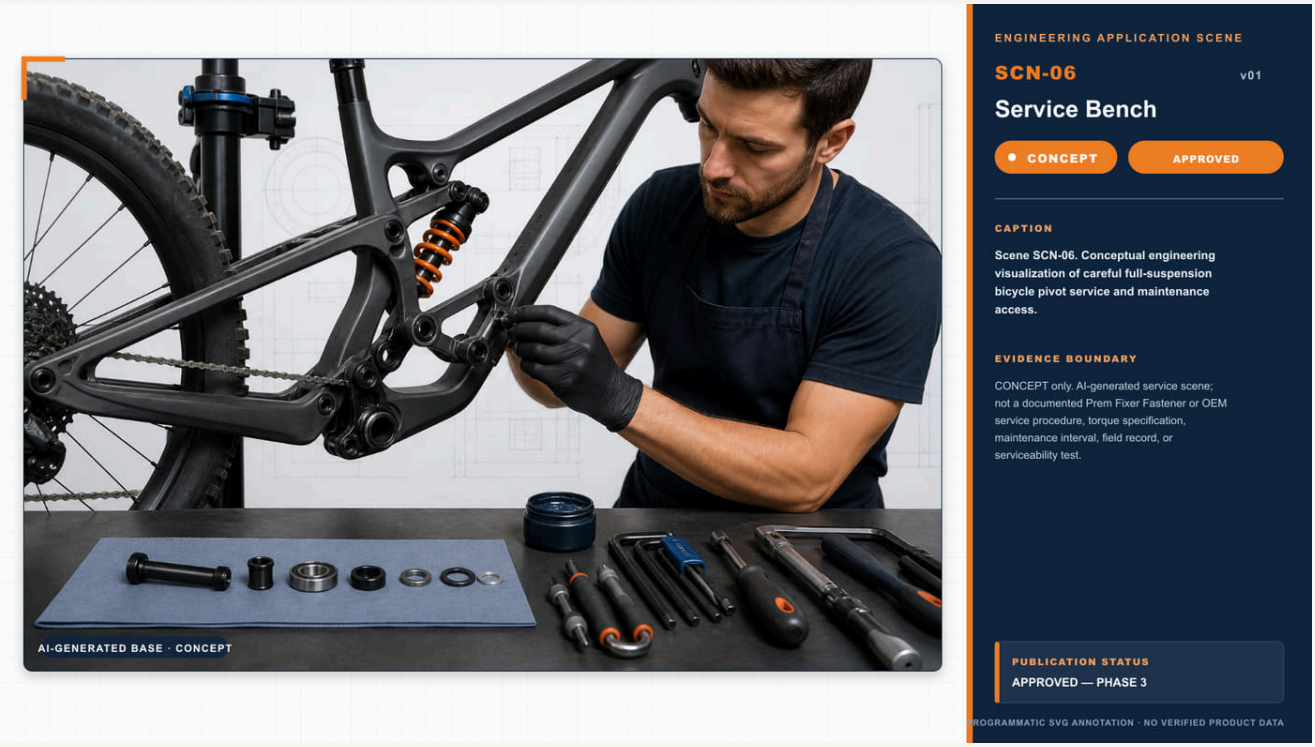
本章のエビデンスボックス

外部

- フレッティング / 湿気：[R5][R6]
- Santa Cruzの整備情報：[R9]
- きしみ音のトラブルシューティング：[R29]
- Specializedのベアリングサポート：[R10]

PremFixer Fasteners

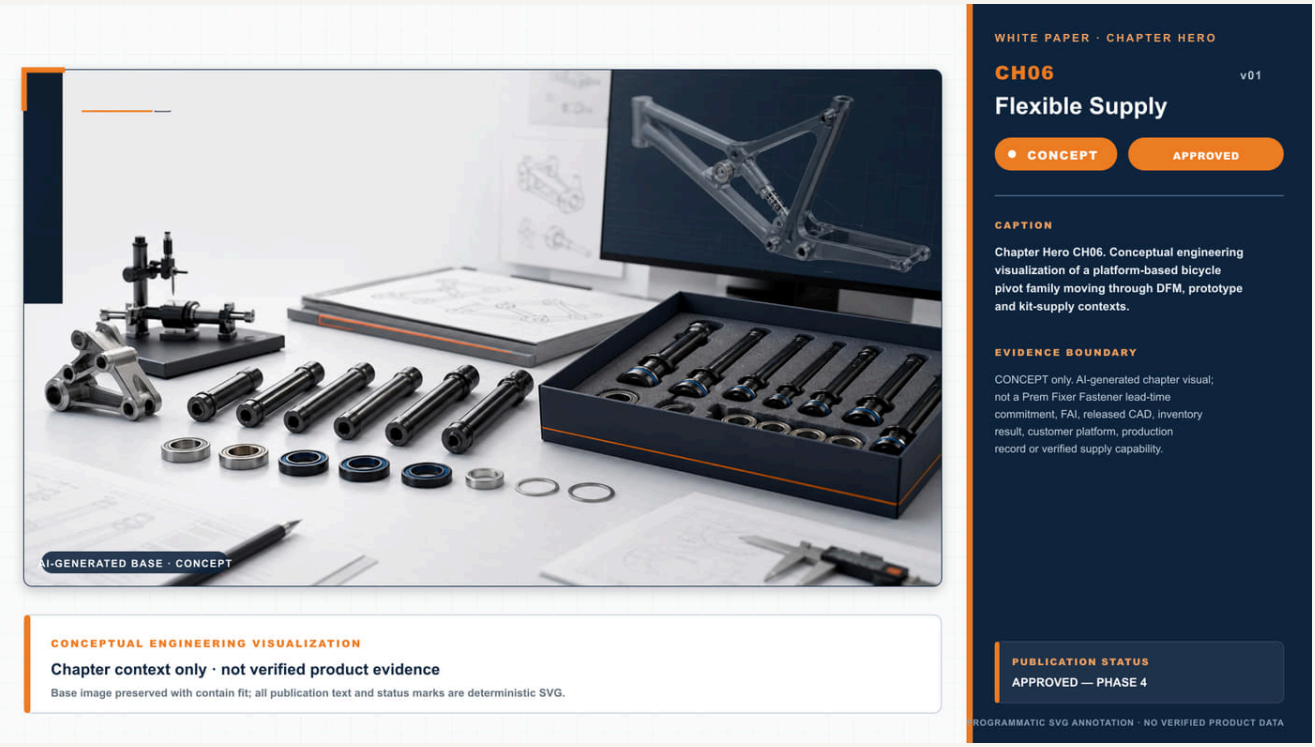
- 浸入試験：C05-001 / E0
- NVH改善：C05-004 / E0
- 取外しトルク：C05-005 / E0
- 3回目整備の再現性：C05-007 / E0



SCN-06 · 適用シーン — SCN-06。フルサスペンション自転車ピボットの慎重な整備とアクセスを示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

第6章：迅速開発、プラットフォーム化、供給柔軟性

6. 迅速開発、プラットフォーム戦略、柔軟な供給



CH06 · チャプターヒーロー — CH06。プラットフォーム化した自転車ピボットファミリーがDFM、試作、キット供給へ進む状況を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

6.1 図面どおりの製造だけでは不十分である

従来のフロー：

> 図面 → 見積り → 加工

上位ピボットで推奨するフロー：

> 要求
> → DFM
> → リスクレビュー
> → 締結体の定義
> → 材料 / コーティング
> → 試作

→ FAI
→ 締結体試験
→ パイロット生産
→ リリース

6.2 DFM初回レビューで答えるべき問い

形状

- ねじ部が高せん断領域にあるか。
- 中空部の終端に切欠きがあるか。
- ショルダーが十分に支持するか。
- 工具のかかりが十分か。

はめあい

- ベアリング内径
- 軸部
- スペーサー
- リンク
- コーティング

材料

- 強度
- 疲労
- 腐食
- かじり
- コーティング適合性

組立

- トルク
- 潤滑
- ねじロック剤
- アクセス性
- ポカヨケ

サービス

- 取外し
- 再使用
- 交換部品
- 表示

6.3 7–10日の試作は条件付き目標に限る

V2.0の推奨表現：

> [TARGET] **材料、工具、熱処理、表面処理のリソースが確保済みのプロジェクトでは、7–10営業日の迅速試作目標を設定できる。実際のリードタイムはプロジェクトのクリティカルパスによる。**

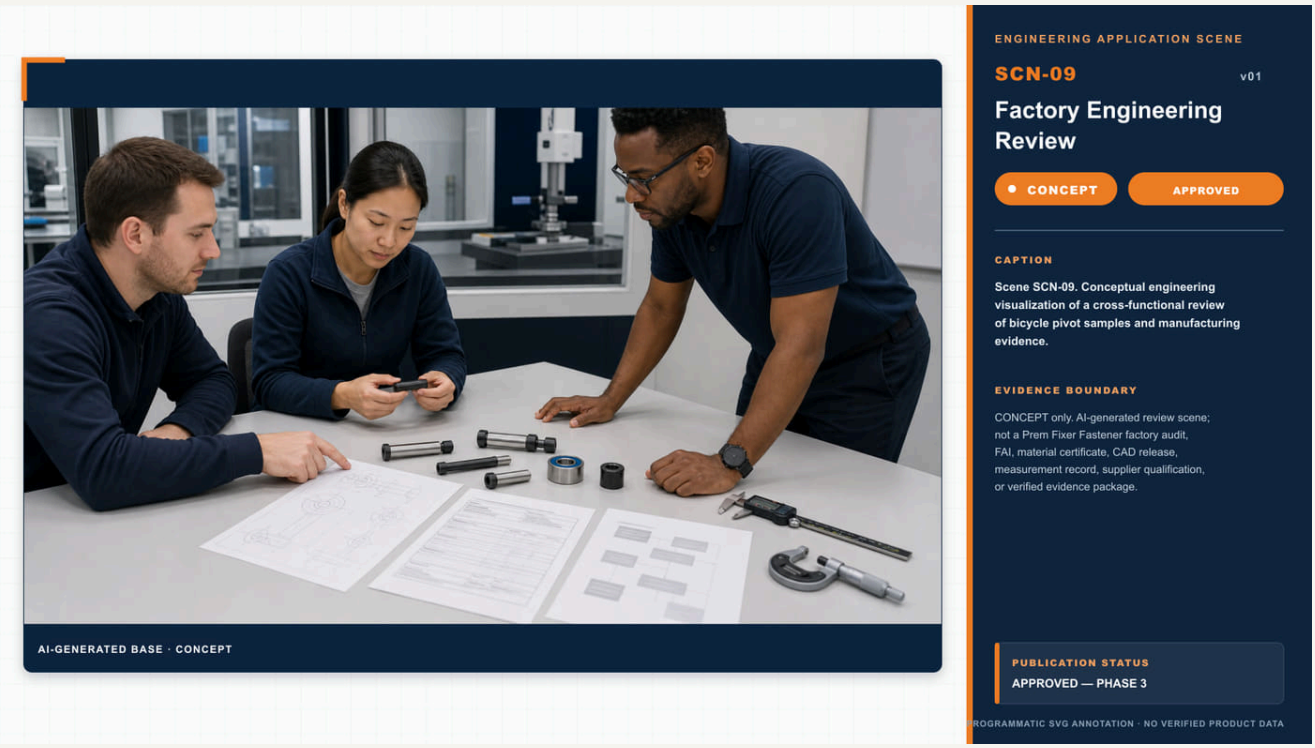
事実へ昇格するには、次を提示します。

- RFQ日
- 図面凍結日
- サンプル完成日
- FAI日
- 顧客フィードバック

6.4 FAI：「数寸法を測る」だけではない

完全なFAIに含める推奨項目：

- バルーン付き図面
- 全寸法検査報告書
- 材料証明書
- 熱処理
- コーティング証明書
- ねじゲージ
- 機能的なはめあい
- 重量
- 写真
- リビジョン
- 逸脱事項



SCN-09 · 適用シーン — SCN-09。自転車ピボット試作品と製造エビデンスを部門横断でレビューする概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

6.5 プラットフォーム化

複数車種で共通化できる項目：

- ねじファミリー
- 工具駆動部
- ベアリングインターフェース
- コーティング
- 材料
- ワッシャーファミリー
- 部品番号体系

変更する項目：

- ショルダー長さ
- 全長
- 中空深さ
- 頭部形状

目的：

> **不要なバリエーションを減らし、全車種へ同一部品を強制しない。**

6.6 「SKUを30–50%削減」は顧客BOMで証明する

一般ホワイトペーパーでは、次のモデルのみを保持します。

$$
\text{Savings}_{SKU} = C_{inventory} + C_{MOQ} + C_{planning} + C_{quality} + C_{service}
$$

実際の削減率は、次から算出します。

- 改善前のSKU数
- 改善後のSKU数
- 数量
- MOQ
- 安全在庫
- 交換部品需要

6.7 1台 / 1ピボットキット

組立工場に適する梱包方式：

- フレーム1台分のキット
- 位置表示
- QR / ロット
- 組立順序
- トルク参照値
- リビジョン管理

削減できる項目：

- 部品不足
- 長さ違いの混在
- ラインサイドでのピッキング
- リビジョン混同

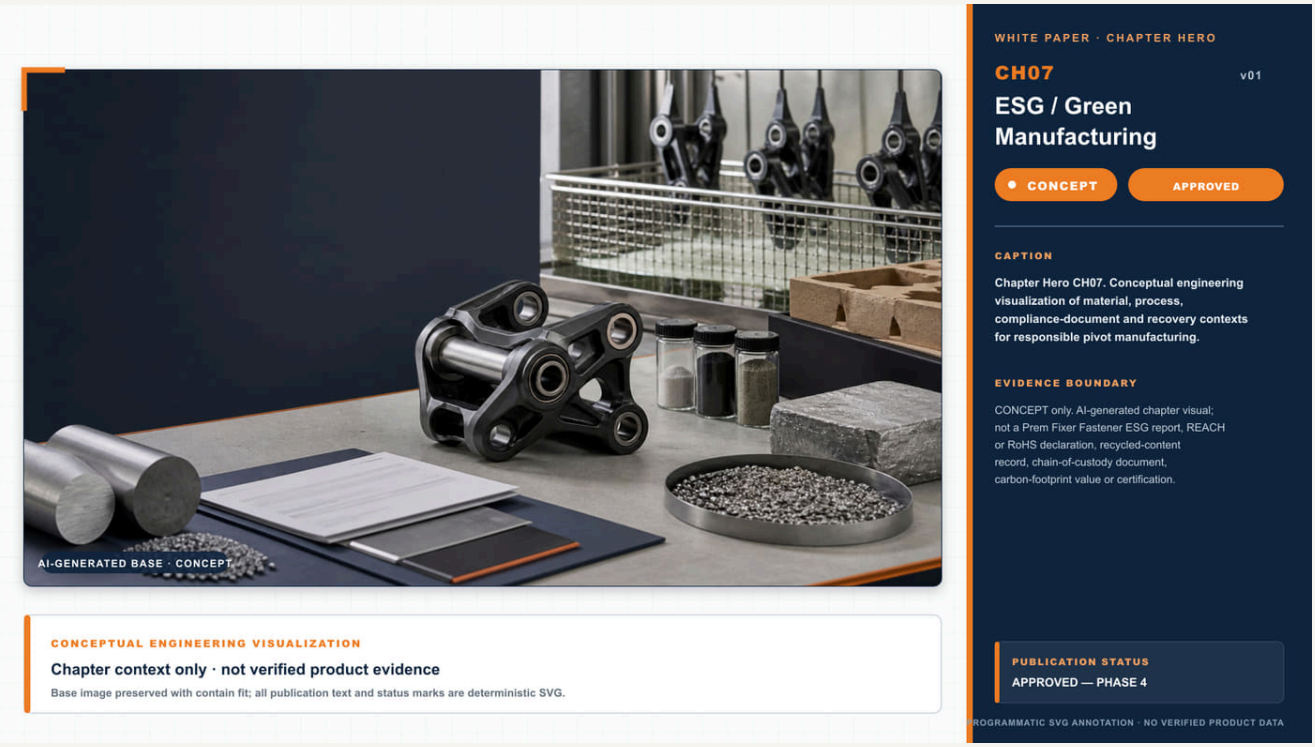
本章のエビデンスボックス

PremFixer Fasteners

- 試作リードタイム：C06-001 / E0
- FAI能力：C06-002 / E0
- キット供給：C06-003 / E0
- TCO削減：C06-004 / E0-E1
- SKU削減：C06-005 / E0

第7章：ESG、REACH、RoHS、グリーン製造

7. ESG、化学物質適合、グリーン製造



CH07 · チャプターヒーロー — CH07。責任あるピボット製造における材料、工程、適合文書、回収の背景を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

7.1 ESGを「環境配慮材料」だけで終わらせない

プレミアムブランドのサプライチェーンでは、ESG / 適合性に次が求められる場合があります。

- 制限物質
- トレーサビリティ
- Cr(VI)管理
- 再生材含有率
- 管理の連鎖
- カーボンフットプリント
- サプライヤーの環境管理

7.2 REACH：候補リストは更新される

ECHA候補リストは更新されるため、正しい宣言には次が必要です。

- 発行日
- 候補リストの基準日
- 材料 / SKUの範囲
- サプライヤー宣言の版
- 必要に応じた試験 / スクリーニング

次のようには記述しません。

> 「永久にREACH適合。」

7.3 RoHS：適用範囲を正しく判断する

RoHS 2011/65/EUの中心対象は電気・電子機器です。[R30]

したがって、機械式ピボットハードウェアにRoHSエビデンスが必要かどうかは、次に基づいて判断します。

- 最終Eバイク / EEE製品の範囲
- 顧客BOM
- 顧客RSL
- 契約

正しい表現：

> **「最終製品の法規適用範囲と顧客の制限物質仕様に応じて、対応する材料宣言を提供できる。」**

7.4 Cr(VI)フリー

サプライチェーンは、次により六価クロム関連リスクを低減できます。

- 三価クロム不動態化
- Cr(VI)フリーのトップコート
- 適切な亜鉛フレークシステム
- 代替コーティング

ただし「Cr(VI)フリー」は、次で裏付ける必要があります。

- サプライヤー宣言
- 化学仕様
- 必要に応じた試験報告書

7.5 再生材含有率：管理の連鎖を確立する

2026年の環境主張 / 管理の連鎖に関するISO更新は、環境主張に信頼できる材料帰属と追跡ロジックが必要であることをさらに強調しています。[R31][R32]

PremFixer Fastenersが将来、次を主張する場合：

> 「X%再生アルミニウム」

次を保存します。

- 原材料サプライヤー
- バッチ
- 宣言書
- 管理の連鎖モデル
- 計算方法
- 該当する場合のマスバランス規則

7.6 カーボンフットプリント

将来、次を設定できます。

$$
\begin{aligned}
\text{CFP} = \\
&\text{Raw\ Material} \\
&+ \text{Machining} \\
&+ \text{Heat\ Treatment} \\
&+ \text{Coating} \\
&+ \text{Packaging} \\
&+ \text{Transport}
\end{aligned}
$$

出力形式：

- kg CO_2e / 1,000個
- kg CO_2e / ピボットキット

ただし、まず次を定義します。

- 境界
- データ源
- 配分
- 電力構成
- 輸送の前提

本章のエビデンスボックス

外部

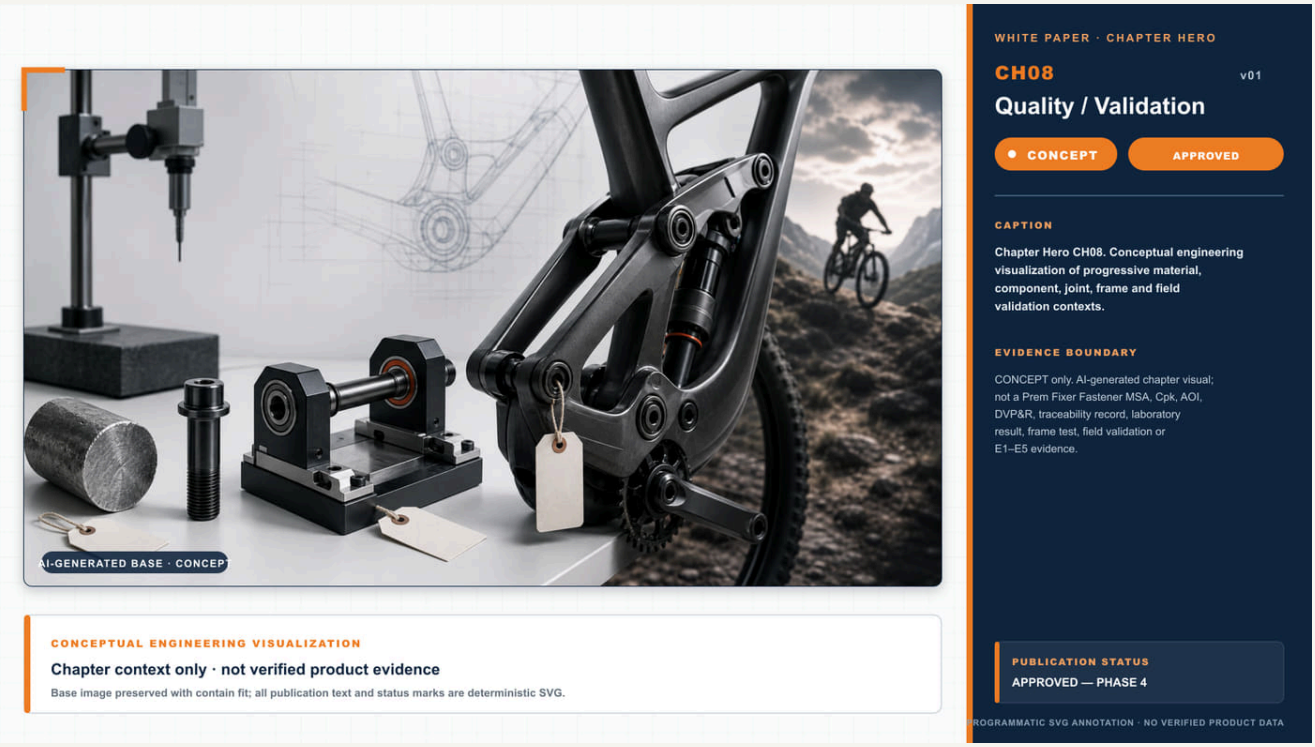
- ECHA / REACH：[R33]
- RoHS：[R30]
- ISO 14021 / 管理の連鎖：[R31][R32]

PremFixer Fasteners

- REACH宣言：C07-001 / E0
- Cr(VI)フリーのエビデンス：C07-002 / E0
- 再生材含有率：C07-004 / E0
- CFP：C07-005 / E0

第8章：品質工学、DVP&R、スマート製造

8. 品質工学、検証、デジタルトレーサビリティ



CH08 · チャプターヒーロー — CH08。材料、部品、締結体、フレーム、フィールドへ進む段階的検証を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

8.1 DFMEA：「不良検査」から「故障予防」へ

例：

故障モード	潜在原因	潜在影響	予防
自緩み	締付力低下 / 振動	ガタ / きしみ音	締結体設計 + ロック
ねじ山破損	過大トルク / 弱いめねじ	保持力喪失	かみ合い + トルク
フレッティング	はめあい / 微小すべり	摩耗 / きしみ音	はめあい + 締付
かじり	Ti/SS乾燥接触	焼付き	潤滑 / コーティング
腐食	コーティング / ガルバニック	焼付き / 強度低下	表面 + 絶縁
疲労き裂	応力集中	構造故障	形状 + 疲労試験
ベアリング抵抗	過大締付 / スペーサー	サスペンション応答悪化	スタック設計

故障モード	潜在原因	潜在影響	予防
工具駆動部の損傷	工具 / 形状	再加工	工具駆動部インターフェース管理

8.2 PFMEA + コントロールプラン

製造側リスク：

- 材料の取り違え
- プログラムの誤り
- 工具摩耗
- ねじ損傷
- コーティングの誤り
- パッチ位置の誤り
- リビジョン混在
- 梱包の誤り

各項目を次へリンクします。

- 予防
- 検出
- 頻度
- 対応計画
- トレーサビリティ

8.3 CTQ

ピボットの代表的CTQ：

- 機能軸部径
- ショルダー長さ
- 機能面
- ねじ通り / 止り
- ねじ位置
- 振れ
- 工具駆動部形状
- 硬さ
- コーティング厚さ
- 管理対象とする場合の摩擦 / トルク挙動
- ロッキングパッチ位置

8.4 MSAをCpkより先に実施する

測定システムが信頼できなければ：

> Cpkは「誤ったデータを正確に計算した」だけです。

フロー：

ゲージ選定
→ 校正
→ MSA / ゲージR&R
→ SPC
→ Cp/Cpk

特に狭い公差では、次を確認します。

- ゲージ分解能
- 温度
- 作業者
- 治具
- 表面仕上げ
- コーティング

8.5 Cpk ≥1.33はプロジェクトゲートであり、根拠のない宣伝ではない

V2.0では、次をプロジェクト推奨値または顧客合意目標として設定できます。

- Cpk ≥1.33
- Cpk ≥1.67

ただし、PremFixer Fastenersの対外的な主張は次に基づく必要があります。

- 特性
- 仕様
- 安定した工程
- サンプル / サブグループの考え方
- MSA
- 実データセット

8.6 100% AOIスクリーニング ≠ 0 PPM保証

AOIで検出できる項目：

- 形状欠落

- 頭部欠陥
- 長さ
- 表面欠陥
- 異品混入
- 一部の寸法特性

自動的には検出できない項目：

- 材料化学成分の誤り
- 内部亀裂
- 水素脆化
- 疲労強度不足
- すべての内部寸法

正しい表現：

> **定義した検出可能特性に対する100%自動スクリーニング。**

次ではありません。

> 「AOI = 0 PPM保証。」

8.7 検証ピラミッド

レベル1 — 材料

- 化学成分
- 硬さ
- 機械特性データ
- コーティング厚さ

レベル2 — 締結部品

- 寸法
- 工具駆動部のトルク
- ねじ山破損
- 引張 / せん断
- 腐食

レベル3 — 締結体

- トルク–締付力

- 繰返し組立
- 取外し
- 横振動
- ベアリング抵抗
- フレッティング

レベル4 — フレーム

- 静的荷重
- 疲労
- 衝撃
- 実ピボット構成

レベル5 — フィールド

- パイロット車
- 走行時間
- 保証
- 販売店フィードバック

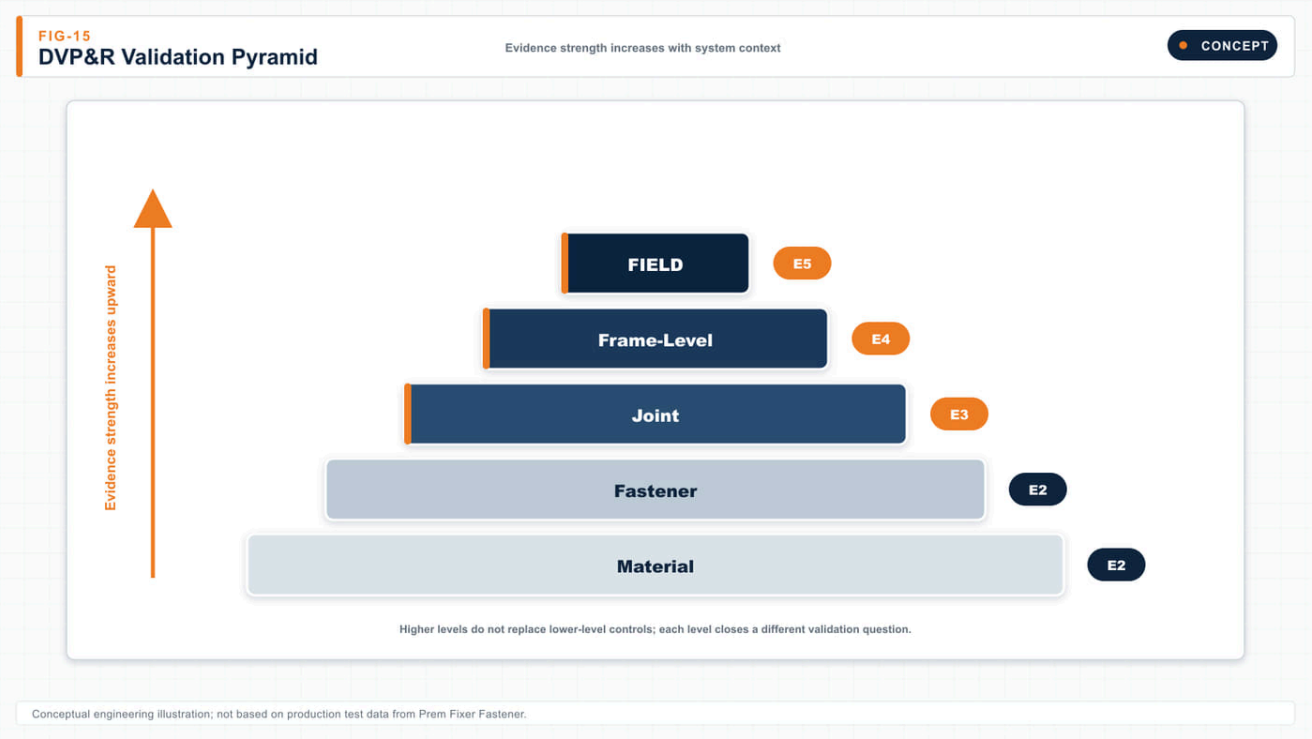


FIG-15 · 技術図 — FIG-15。材料・締結部品管理から締結体、フレーム、フィールドのエビデンスへ進む概念的なDVP&R検証ピラミッド。PremFixer Fastenersの完了済み検証記録ではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

8.8 ISO 4210と過酷用途の境界

ISO 4210-2:2023はマウンテンバイクを含む各種自転車に適用されますが、公認競技やスタントなどの過酷用途専用に設計された一部の自転車には適用しないと明記しています。[R34]

ISO 4210-6:2023は、ISO 4210-2に対応するフレームおよびフォークの試験方法を規定します。[R35]

したがって：

> **ISO 4210は重要な完成車 / フレーム基準にできますが、過酷なDH / レース / フリーライドプロジェクトではブランド独自の過酷用途荷重条件が必要となる場合があります。**

8.9 DVP&Rコアマトリクス

試験	目的	エビデンスレベル
寸法能力	安定したはめあい	E2
コーティングのビルドアップ	最終はめあい	E2
トルク–締付力	締結体の予荷重	E3
工具駆動部のトルク	組立余裕	E2
ねじ山破損	ねじ能力	E2 / E3
繰返し組立	サービス	E3
横振動	ロック	E3
塩水噴霧	コーティング品質	E2
サイクル腐食	環境	E2 / E3
フレッティング締結体試験	インターフェース	E3
フレーム疲労	システム	E4
フィールドパイロット	ライフサイクル	E5

8.10 トレーサビリティ

推奨チェーン：

顧客発注書
→ 梱包ロット
→ 最終検査
→ コーティングロット
→ CNCバッチ / プログラムリビジョン

→ 材料ロット / 溶鋼番号
→ MTC

苦情発生時の目標：

> **1点の部品から材料と工程まで逆追跡する。**

本章のエビデンスボックス

外部

- ISO 4210-2：[R34]
- ISO 4210-6：[R35]
- ISO 9227 / 19852：[R19][R26]
- ISO 16047：[R17]

PremFixer Fasteners

- CTQ / コントロールプラン：C08-001 / E0
- Cpk：C08-002 / E0
- AOI適用範囲：C08-003 / E0
- 材料トレーサビリティ：C08-005 / E0
- コーティングトレーサビリティ：C08-006 / E0

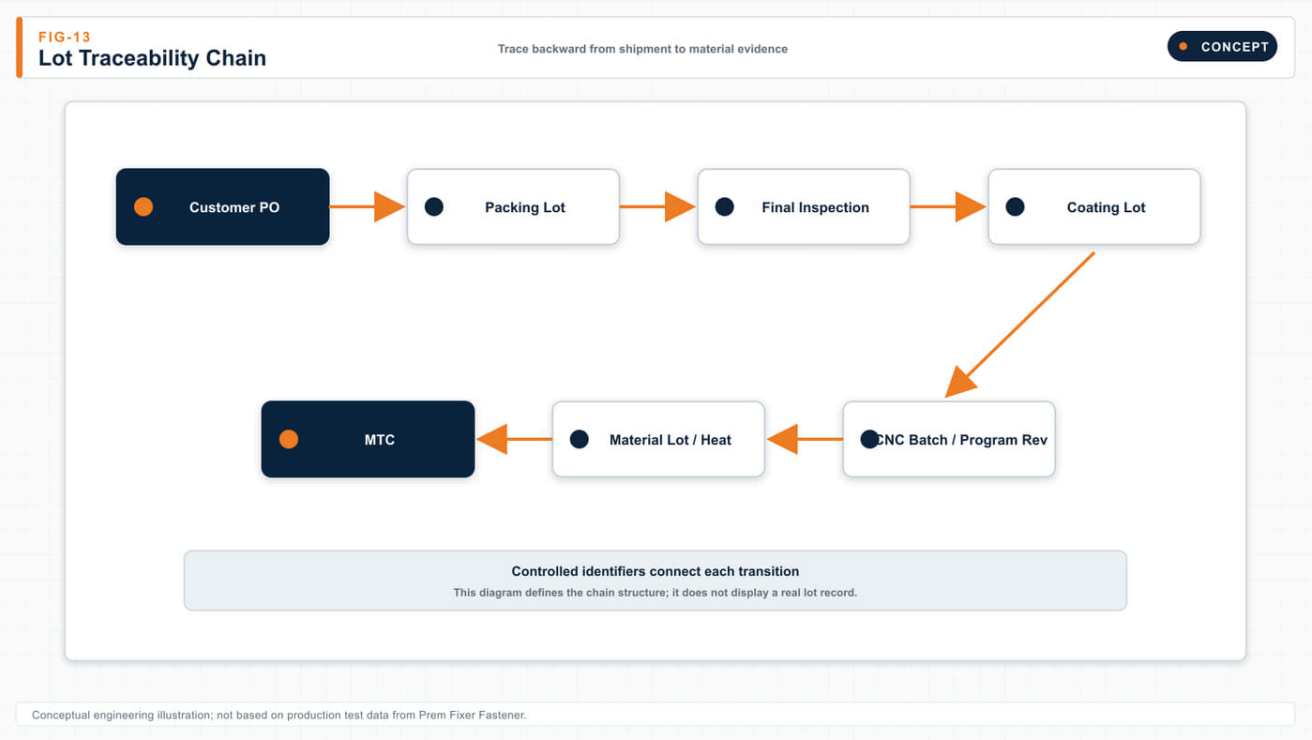
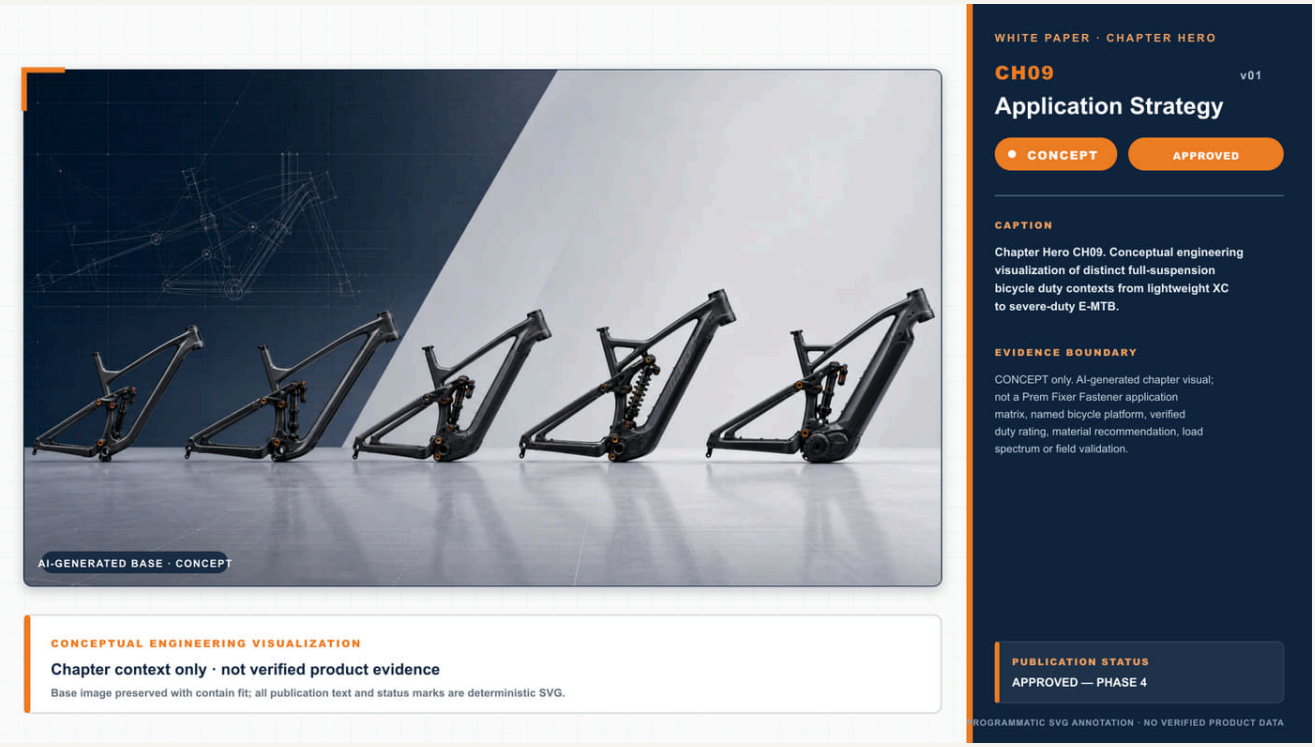


FIG-13 · 技術図 — FIG-13。出荷・検査から工程・材料エビデンスへ遡る概念的なロットトレーサビリティチェーン。PremFixer Fastenersの生産記録ではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

第9章：車種別ピボット戦略

9. 用途別ピボット戦略



CH09 · チャプターヒーロー — CH09。軽量XCから過酷なE-MTBまで、フルサスペンション自転車の異なる使用条件を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

9.1 XC / ダウンカントリー

優先順位：

1. 質量
2. 比剛性
3. 低抵抗
4. 信頼性

候補方針：

- 7075
- Tiの選択使用
- 中空軸
- 小型頭部
- 最適化したシール

避けるべき事項：

- 軽量化のために工具駆動部を弱める
- 中空部終端の疲労ホットスポット
- ねじかかり長さ不足

9.2 トレイル

中心概念：

> **バランス型アーキテクチャ**

両立する項目：

- 重量
- 泥
- 整備
- コスト
- 耐久性

共通プラットフォームの中心仕様に適します。

9.3 エンデューロ

重点：

- 衝撃
- 疲労
- 緩み止め
- 防泥
- 繰返し整備
- 工具耐久性

9.4 ダウンヒル

重点：

- 締結体剛性
- 高いせん断余裕
- ベアリング支持
- 整備速度

- 過酷用途の検証

ISO 4210-2自体が一部の過酷な競技用途を適用範囲から除外しているため、[R34] DHレースプロジェクトは最低限の一般規格だけに依存すべきではありません。

9.5 E-MTB：非電動MTB仕様をそのまま複製しない

現行のフルパワーE-MTBの公開仕様は、明らかに異なるシステム環境を示しています。

たとえばTrek Rail+の現行公開仕様：

- 最大120 Nm
- 800 Wh
- 前後160 mmトラベル。[R36]

これらのデータだけでピボット荷重の増加率へ直接換算することはできませんが、E-MTBの次の条件が軽量な非電動トレイルバイクと異なることは明らかです。

- システム質量
- 駆動トルク環境
- 走行時間
- 繰返し登坂 / 下りの使用条件

したがって、V2.0は次を推奨します。

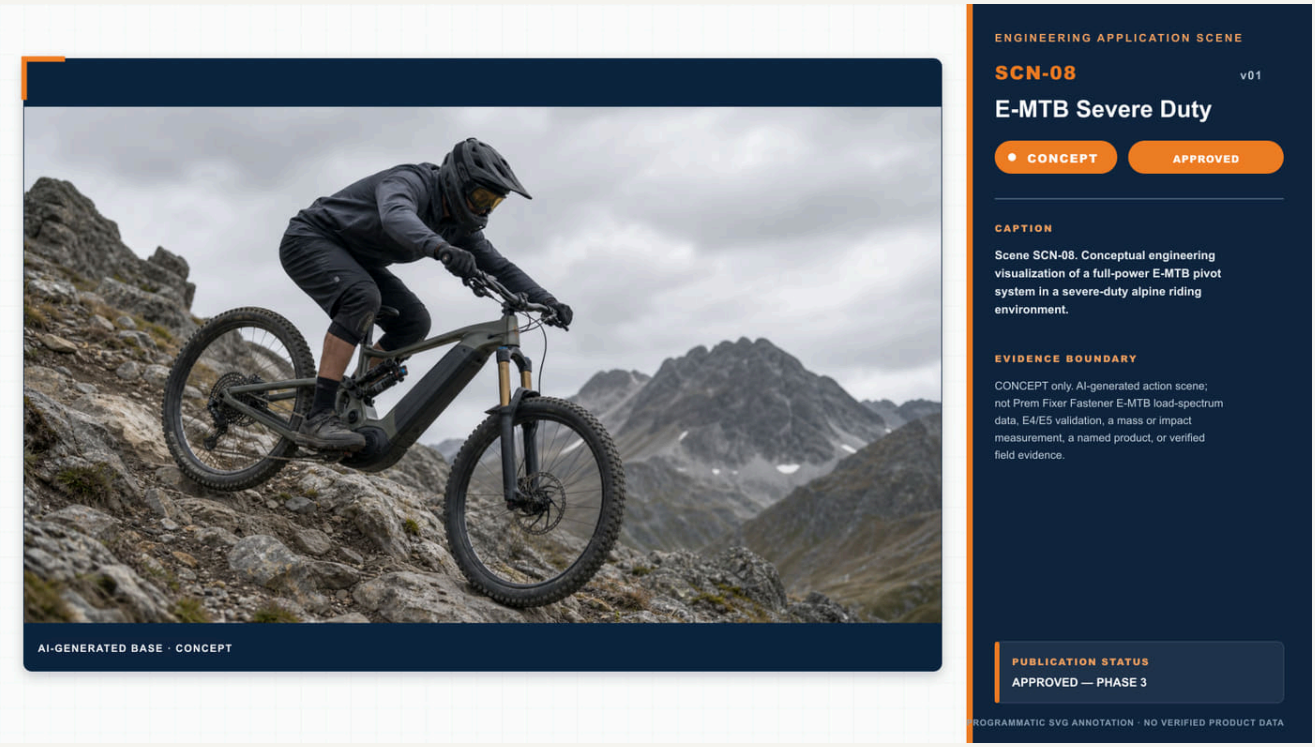
E-MTBピボット荷重スペクトルプログラム

入力：

- 車体質量
- ライダー質量
- モータートルク
- ジオメトリ
- レバー比
- 制動荷重
- 衝撃スペクトル
- トラベル量
- 使用条件

出力：

- 静的設計条件
- 疲労スペクトル
- 緩み止め試験
- ベアリング寿命
- 腐食 / 整備間隔



SCN-08 · 適用シーン — SCN-08。過酷な山岳走行環境におけるフルパワーE-MTBピボットシステムの概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

本章のエビデンスボックス

外部

- フルサスペンションDH構造研究：[R7]
- ISOの過酷用途境界：[R34]
- 現行E-MTB仕様の背景：[R36]

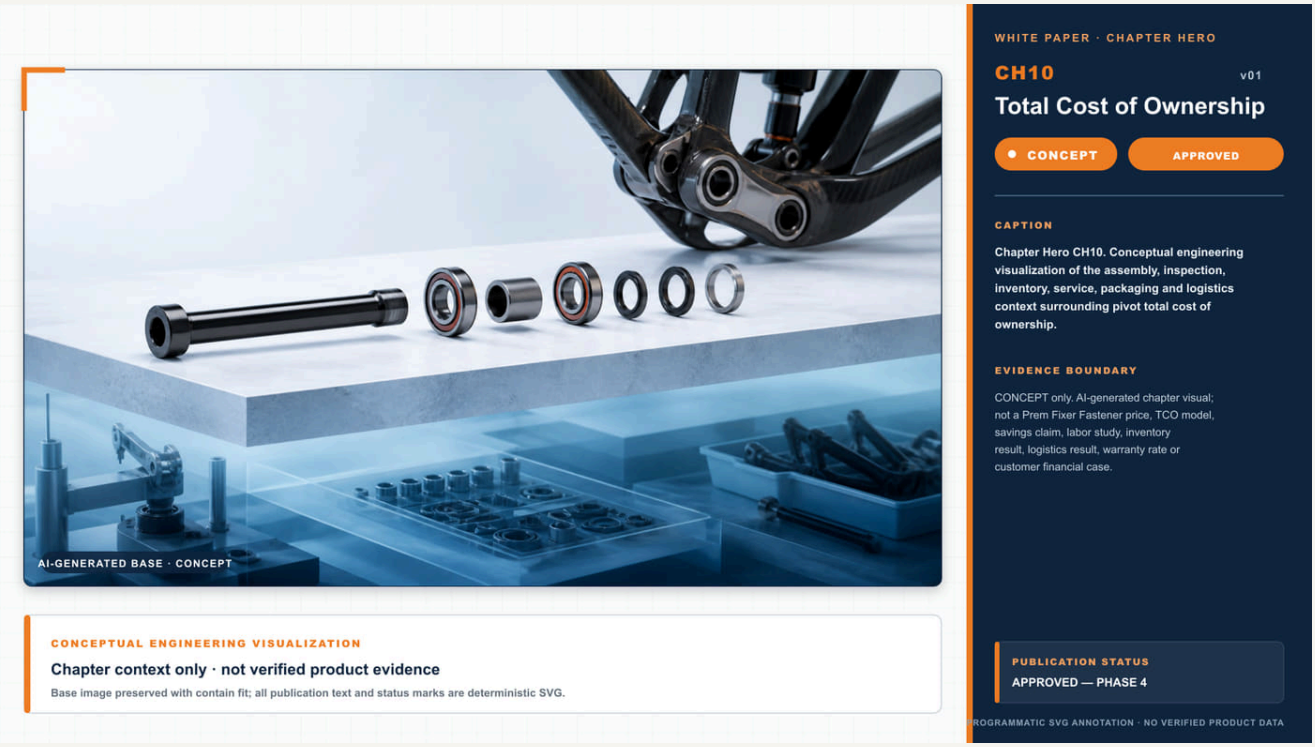
PremFixer Fasteners

- E-MTB荷重スペクトル：NEW-T25 / E0-E1
- フレーム / 締結体：E3-E4 保留中

FIG-14 · 技術図 — FIG-14。XC、トレイル、エンデューロ、DH、E-MTBの使用条件に対する概念的な用途戦略マトリクス。必須の材料選定規則や検証済み使用定格ではありません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

第10章：ピボットの総保有コスト

10. ライフサイクルの経済性



CH10 · チャプターヒーロー — CH10。ピボットの総保有コストを取り巻く組立、検査、在庫、サービス、梱包、物流の背景を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

10.1 最安の部品が最小コストを生むとは限らない

2つの選択肢を比較します。

選択肢A

購入価格が低い

ただし、次が起こり得ます。

- 組立ばらつきが大きい
- 手直しが多い
- 腐食余裕が小さい
- 取外しが難しい
- トレーサビリティが不明確

選択肢B

購入価格が高い

ただし、次によりライフサイクル総コストを削減できる可能性があります。

- 安定した締結体
- 塗布済み緩み止め
- 管理されたコーティング
- キット梱包
- 整備性
- 品質エビデンス

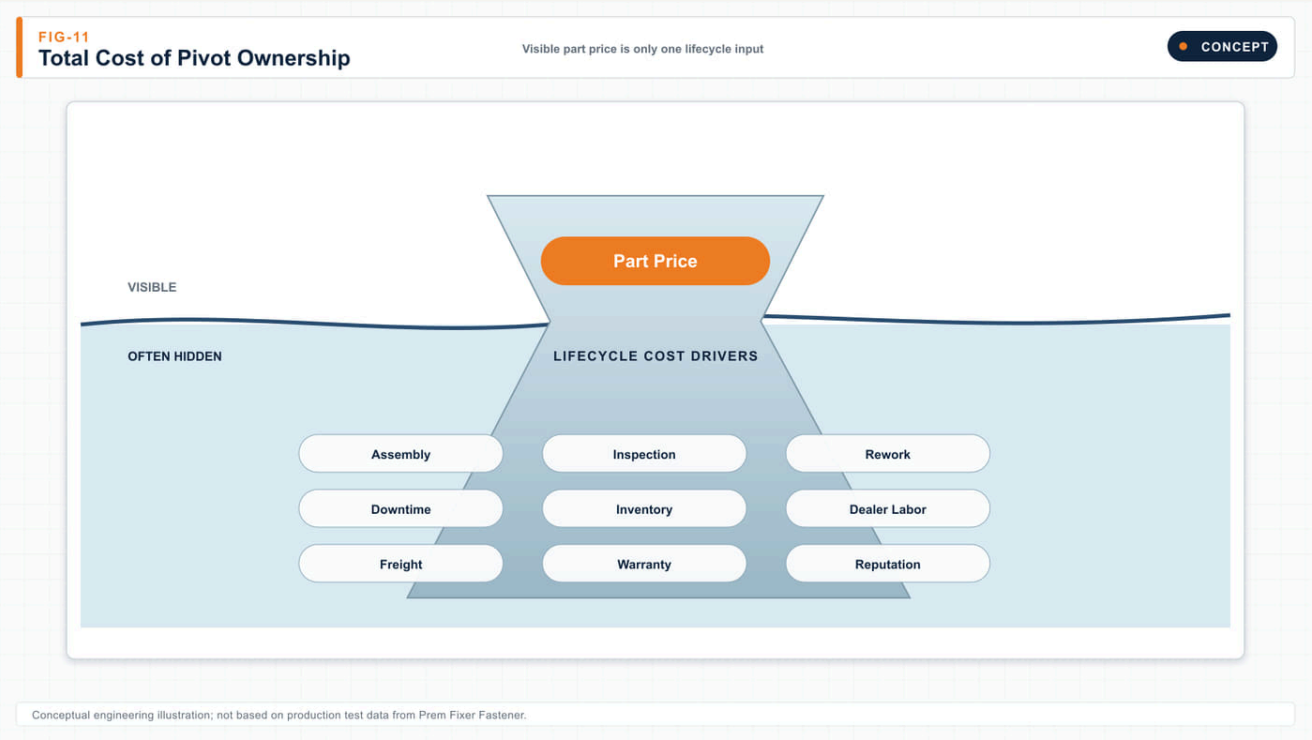


FIG-11 · 技術図 — FIG-11。概念的な総保有コストの氷山図。コスト要因の区分は説明用で、PremFixer Fastenersまたは顧客の財務結果を主張しません。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

10.2 期待コストモデル

$$E(C)= C_{part} + P_{rework}C_{rework} + P_{warranty}C_{warranty} + C_{inventory}$$

$$+$$

$$C_{inspection}$$

したがって購買部門は、次を比較すべきです。

> **信頼できる自転車1台当たりのコスト**

次ではありません。

> **ボルト1本当たりのコスト**

10.3 保証コスト

$$C_{warranty}$$

$$=$$

$$C_{hardware}$$

$$+$$

$$C_{bearing}$$

$$+$$

$$C_{dealer}$$

$$+$$

$$C_{freight}$$

$$+$$

$$C_{admin}$$

$$+$$

$$C_{customer}$$

海外ブランドでは、販売店工賃と物流費がハードウェア自体よりはるかに高くなる場合があります。

10.4 TCOデータの情報源

顧客が実際に入力すべき項目：

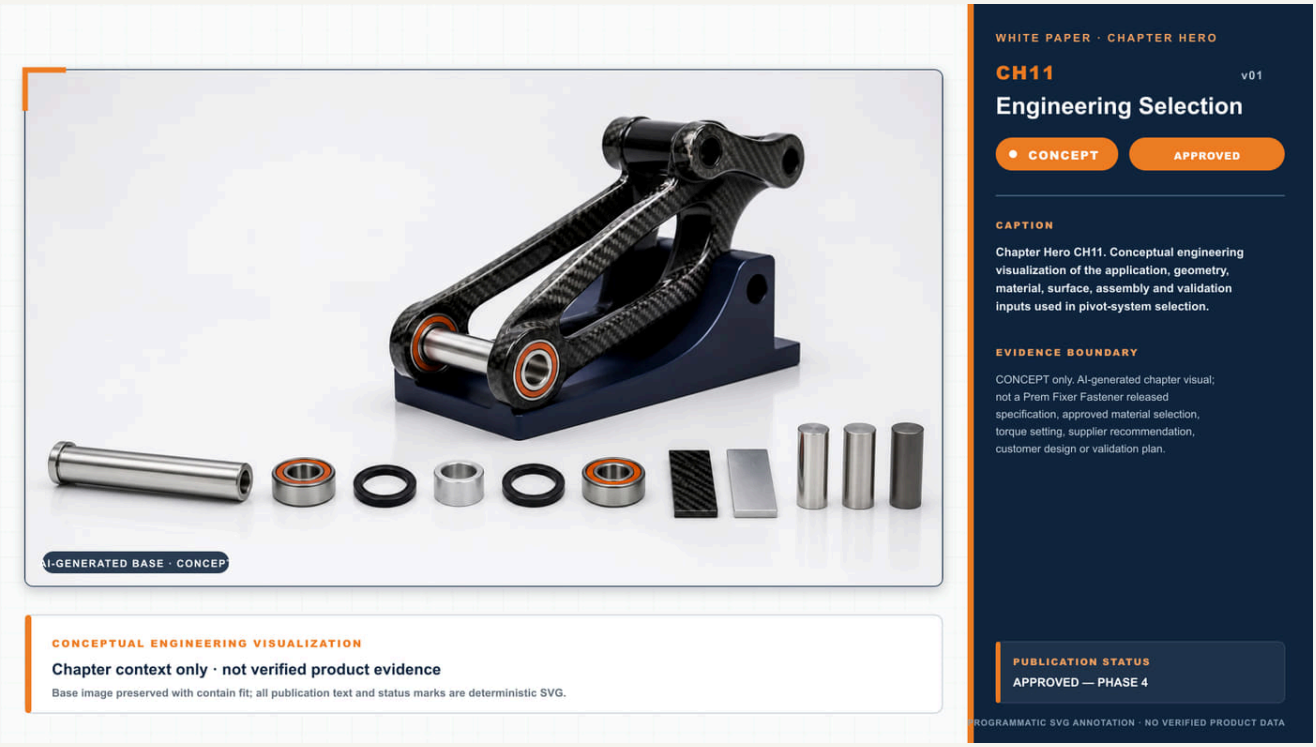
- 年間自転車生産台数
- ハードウェア費
- 組立工数
- 手直し率
- 手直し費
- 保証率
- 平均保証費

- 販売店工賃
- 輸送費
- 在庫保有費
- SKU数
- 廃棄

最終的に、技術改善を購買部門が理解できる財務結果へ変換します。

第11章：ピボット工学選定ガイド

11. 9ステップ選定フレームワーク



CH11 · チャプターヒーロー — CH11。ピボットシステム選定に用いる用途、形状、材料、表面、組立、検証の入力を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

ステップ1 — フレーム材料

- カーボン
- アルミニウム
- 混合材料

出力：

- 局部面圧リスク
- ガルバニック腐食リスク
- インサート方針

ステップ2 — ライディングプラットフォーム

- XC
- ダウンカントリー
- トレイル
- エンデューロ
- DH
- E-MTB

ステップ3 — 荷重定義

入力：

- ライダー
- 車体
- レバー比
- ピボット位置
- 制動
- 衝撃
- ペダリング / モーター

ステップ4 — 材料

候補：

- アルミニウム合金
- チタン
- 合金鋼
- ステンレス鋼

ステップ5 — 形状

- 軸部
- ショルダー
- ねじ
- 頭部
- フィレット
- 中空部
- 工具駆動部

ステップ6 — 表面システム

- コーティング
- 厚さ
- 摩擦
- 腐食
- 色
- 化学物質適合性

ステップ7 — ロック方針

- 液状ねじロック剤
- 塗布済み接着剤
- ロッキングパッチ
- 機械式ロック
- ナット
- 構造的な回り止め

ステップ8 — トルク–締付力校正

定義必須項目：

- 表面状態
- トルク
- 締付力
- ばらつき
- 取外し
- 再使用

ステップ9 — DVP&Rリリース

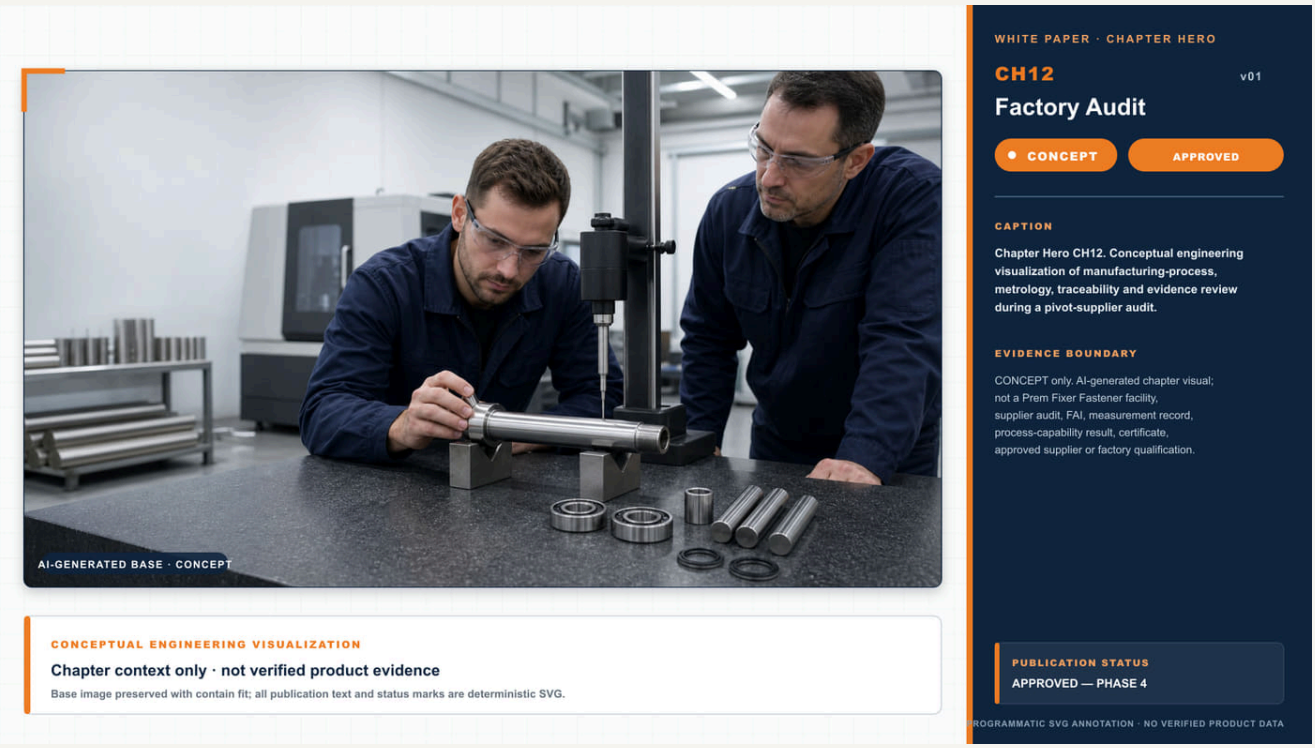
最低限必要な項目：

- 図面
- FAI
- MTC
- コーティング
- CTQ
- トルク
- 腐食
- トレーサビリティ

第12章：サプライヤー工場監査

12. 100点工学監査

モジュール	点数
エンジニアリング & DFM	15
材料 & トレーサビリティ	10
CNC / 精密工程	15
ねじ工程	10
表面処理	10
測定 / MSA	15
品質 / SPC	10
梱包 / トレーサビリティ	5
ESG / 化学物質適合性	5
納入 / 変更管理	5
合計	**100**



CH12 · チャプターヒーロー — CH12。ピボットサプライヤー監査における製造工程、計測、トレーサビリティ、エビデンスのレビューを示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

12.1 エンジニアリング & DFM — 15

確認項目：

- 図面レビュー
- 公差積上げ
- ベアリングインターフェース
- せん断面
- コーティング代
- トルク–締付力の理解
- 整備性
- 変更管理

12.2 材料 — 10

- MTC
- 溶鋼 / ロット
- 識別・隔離
- 受入検査
- 材料グレード確認
- 証明書との紐付け

12.3 CNC — 15

- 機械能力
- プログラム管理
- 治具
- 工具寿命
- 補正
- 工程内測定

12.4 ねじ — 10

- 転造 / 切削工程
- ゲージ
- 振れ
- バリ
- ねじ谷底の健全性
- トレーサビリティ

公開された疲労研究は、ねじ製造工程を重要な工学変数として扱うことを支持します。[R3]

12.5 表面処理 — 10

- 認定供給元
- 前処理
- 厚さ
- 塩水噴霧
- 摩擦
- 水素脆化
- ロット
- 化学物質適合性

12.6 測定 — 15

次だけを質問してはいけません。

> 「CMMはあるか。」

質問すべき内容：

> **「CTQに対応するゲージは本当に十分か。」**

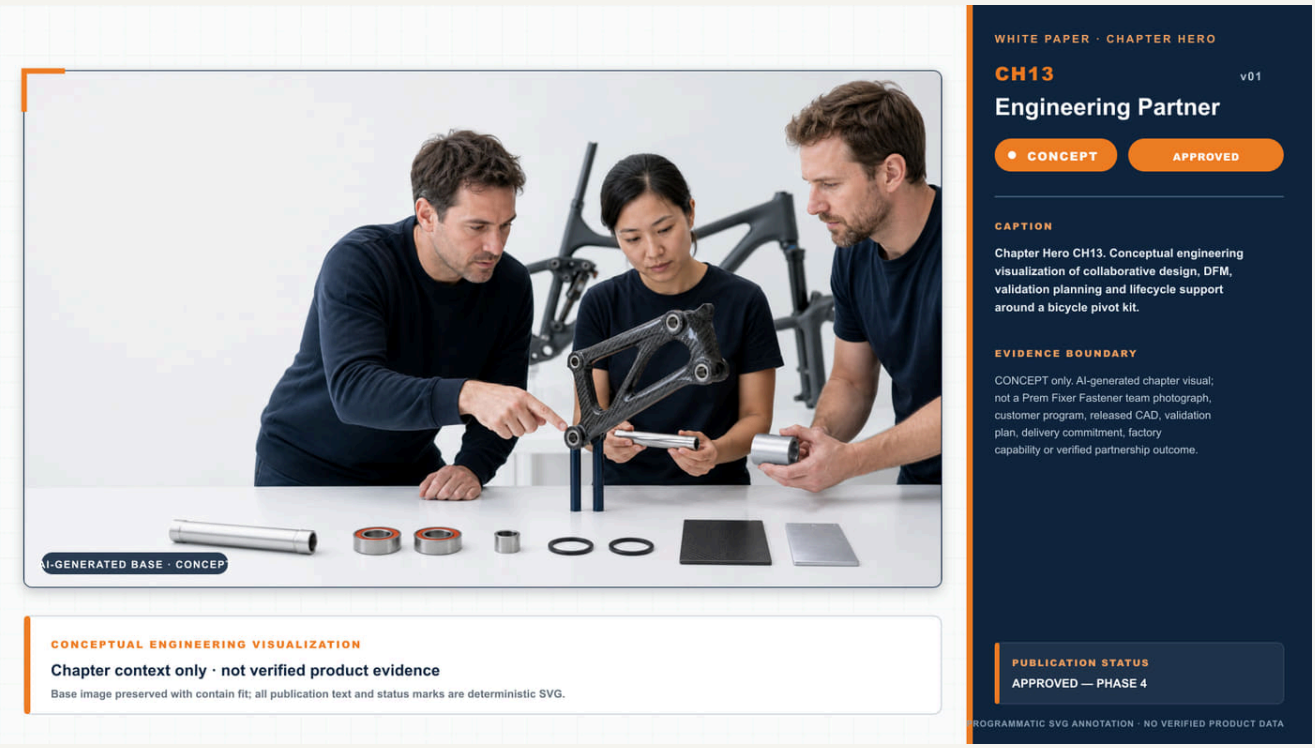
使用設備の例：

- マイクロメーター
- エアゲージ
- 画像測定システム
- CMM
- 粗さ測定器
- コーティング厚さ測定器
- 硬さ試験機
- トルク / 締付力測定器
- 塩水噴霧試験機

第13章：PremFixer Fastenersのエビデンスベース協業モデル

13. 締結部品サプライヤーからピボット技術パートナーへ

> 本章はPremFixer Fasteners V2.0プロジェクトの進め方を定義します。
> 「工場がすでに保有する」とする具体的な性能能力は、実エビデンス取得後にのみ最終公開版へ記載します。



CH13 · チャプターヒーロー — CH13。自転車ピボットキットを中心とする共同設計、DFM、検証計画、ライフサイクル支援を示す概念的なエンジニアリング・ビジュアライゼーションです。**CONCEPTのみ。** この図は、PremFixer Fastenersの製品、工場、検査、試験、フィールド性能、認証のエビデンスではありません。

13.1 エンジニアリングから価値へ

目標フロー：

顧客要求
→ DFM
→ 故障リスクレビュー
→ 材料 / コーティング
→ 試作

→ FAI
→ DVP&R
→ パイロット生産
→ 量産
→ ロットトレーサビリティ
→ フィールドフィードバック

13.2 主要SKUエビデンスパック

優先選定：

主要SKU A — 軽量

7075 / 中空 / 質量重視

主要SKU B — プレミアム

Ti / 整備性 / かじり管理

主要SKU C — 耐久

鋼 / 腐食 / 疲労 / コーティング

SKUごとに次を構築します。

```
01_図面
02_CAD
03_材料
04_寸法
05_MSA
06_工程
07_コーティング
08_トルク
09_強度
10_腐食
11_振動
12_組立
13_トレーサビリティ
14_製品写真
15_工場写真
16_ホワイトペーパー図版
```

13.3 初回ロットで必ずクローズするエビデンス

P0-1 機能軸部能力

目標： 実量産の寸法能力を証明する。

P0-2 材料トレーサビリティ

目標： MTC → SKU → ロット。

P0-3 コーティング

目標： 具体的な構成 + 厚さ + 塩水噴霧 + 化学物質宣言。

P0-4 トルク–締付力

目標： 実際のコーティング / 潤滑 / 緩み止め曲線。

P0-5 繰返し組立

目標： 取付け / 取外しサイクル。

P0-6 緩み止め

目標： 横振動の比較。

P0-7 トレーサビリティ

目標： 発注書 → 完成品ロット → コーティング → CNC → 材料。

13.4 最終顧客が受け取るものは見積書だけではない

成熟したピボットプロジェクトで出力できる項目：

1. 見積書
2. DFMレビュー
3. 図面
4. 材料証明書
5. FAI
6. トルク / 組立仕様書
7. DVP&R
8. コントロールプラン
9. トレーサビリティ
10. 梱包 / 交換キット計画

これが次の協業です。

> **自転車ピボットハードウェアのエンジニアリング・製造パートナーシップ**

第14章：V2.0の工学的結論

14. 工学的結論

公開規格、査読研究、MTBブランドの公式技術慣行を用いた第1回エビデンス化により、本ホワイトペーパーは次の比較的強い結論を導きます。

結論1

ピボットハードウェアを標準締結部品の考え方だけで設計してはなりません。

精密軸、締結体予荷重、ベアリングインターフェース、整備用ハードウェアの機能を同時に担います。

結論2

トルクは締付力ではありません。

コーティング、潤滑、ねじロック剤、相手面の変更は、実際の予荷重を変える可能性があります。[R2][R17]

結論3

機能的なはめあいは「単一の公差値」より重要です。

フレッティングは微小相対運動、はめあい、接触状態に関係します。[R5][R6]

結論4

塩水噴霧は実使用寿命を示す時計ではありません。

ISO 9227自体が、塩水噴霧結果を長期使用寿命へ直接換算することを支持していません。[R19]

結論5

CFRP / アルミニウムインターフェースではガルバニック腐食を管理します。

材料絶縁、コーティング、シール、排水は、いずれも構造設計の一部です。[R11][R28]

結論6

チタンのプレミアム価値には、かじりとトルク摩擦の同時管理が必要です。 [R12]

結論7

高強度鋼のめっき部品では水素脆化を管理します。 [R20]-[R23]

結論8

ねじ製造工程は疲労工学の変数です。 [R3]

結論9

整備性はアフターサービスの付加項目ではなく、ピボットシステムの設計KPIです。 [R9][R10]

結論10

E-MTBには独立した荷重スペクトルが必要で、非電動MTBの検証を単純に複製できません。 [R36]

付録A：材料選定マトリクス

材料	密度	強度ポテンシャル	耐食性	かじり	軽量化	代表用途
6061-T6	低	中	表面処理により良好	低	高	スペーサー / 中荷重
7075-T6	低	高	インターフェース依存	低–中	非常に高	軽量軸 / ボルト
Ti-6Al-4V	中	非常に高	高	重点懸念	高	高価格帯の軸 / ボルト
合金鋼	高	非常に高	コーティング依存	低–中	低	高荷重 / 小断面
ステンレス鋼	高	鋼種依存	高	中–高	低	腐食 / サービス

付録B：ガルバニックリスク・スクリーニング

> 以下は設計スクリーニングであり、精密なガルバニック電位表ではありません。

組合せ	湿潤 / 塩分リスク	主な対策
Al ↔ Al	中	表面仕上げ + シール
Al ↔ ステンレス鋼	中–高	絶縁 + シール
Al ↔ チタン	中–高	バリア + シール
CFRP ↔ アルミニウム	高	電気的絶縁
チタン ↔ ステンレス鋼	ガルバニック腐食は低–中、かじりをレビュー	潤滑剤 / サービス
鋼 ↔ アルミニウム	中–高	コーティング + 絶縁

付録C：表面工学マトリクス

工程	母材	主な価値	主なリスク
陽極酸化	Al	腐食 / 外観	ビルドアップ / はめあい
硬質陽極酸化	Al	摩耗 / 腐食	寸法への影響
Zn系	鋼	腐食	水素脆化 / 摩擦
Zn-Ni	鋼	腐食	工程 / トルク
亜鉛フレーク	鋼	腐食 / 機能	はめあい / 摩擦
PVD	各種	摩耗 / 外観	システム依存の腐食
不動態化	ステンレス鋼	表面状態	母材鋼種も重要
焼付き防止剤	ねじ	かじり低減	トルク再校正

付録D：トルク–締付力ワークシート

プロジェクト:
フレーム:
ピボット位置:
部品番号:
図面リビジョン:
材料:
ねじ:
コーティング:
潤滑:
ねじロック剤:
めねじ材料:
目標トルク:
トルク公差:
目標締付力:
締付力ウィンドウ:
取り外しトルク:
再使用サイクル:

付録E：DVP&Rコアテンプレート

要求	故障	試験	方法	サンプル	合否基準	エビデンス
はめあい	フレッティング	寸法＋締結体	社内			
予荷重	ばらつき	トルク–締付力	ISO 16047を参考			
緩み止め	自緩み	横振動	プロジェクト定義			
腐食	赤さび	NSS	ISO 9227			
サービス	かじり	繰返し組立	社内			
構造	疲労	フレーム試験	ISO/顧客			

付録F：DFMチェックリスト

形状

- ☐ 必要な場合、せん断面をねじ外に配置
- ☐ ショルダーが機能インターフェースを支持
- ☐ フィレットが十分
- ☐ 中空部の遷移をレビュー済み
- ☐ 工具のかかりが十分
- ☐ ねじかかり長さが十分

はめあい

- ☐ ベアリング
- ☐ 軸部
- ☐ スペーサー
- ☐ フレーム / リンク
- ☐ コーティング
- ☐ 最終スタック

材料

- ☐ 材料グレード
- ☐ 強度
- ☐ 疲労
- ☐ 腐食
- ☐ かじり
- ☐ ガルバニック腐食

組立

- ☐ トルク
- ☐ 締付力
- ☐ ねじロック剤
- ☐ 潤滑
- ☐ ポカヨケ

サービス

- ☐ 取外しトルク

- ☐ 再使用
- ☐ 交換部品番号
- ☐ 工具アクセス
- ☐ 腐食による固着

付録G：公開エビデンス → 社内検証マップ

工学的主張	公開エビデンスの支持	PremFixer Fastenersが検証すべき内容
トルク ≠ 締付力	あり	自社の曲線
横荷重で緩み得る	あり	自社の締結体
微小運動によるフレッティング	あり	自社のはめあい / 締付
塗布済み方式は成熟技術	あり	自社のタクト / 緩み止め
CFRP/Alのガルバニック腐食リスク	あり	自社材料スタック
Tiのかじりリスク	あり	自社の潤滑 / 取外し
水素脆化リスク	あり	自社めっき工程
転造ねじ疲労メカニズム	あり	自社製品疲労
NSSの限界	あり	自社コーティング報告書
E-MTB環境は異なる	あり	自社荷重スペクトル

付録H：ホワイトペーパー推奨図版

1. ピボットシステム分解図
2. ベアリング–軸–スペーサー荷重経路
3. 公差積上げ図
4. トルク–締付力工学ウィンドウ
5. コーティングのビルドアップ前後
6. Junker型締付力保持曲線
7. ガルバニック腐食経路
8. 多層シールアーキテクチャ
9. きしみ音故障ツリー
10. ねじ転造の材料流れ図
11. TCOの氷山図
12. エビデンスレベル E0 – E5
13. ロットトレーサビリティチェーン
14. XC / トレイル / エンデューロ / DH / E-MTBマトリクス

付録I：用語集

用語	日本語	説明
Pivot	ピボット / 回転支点	サスペンション・リンケージの回転点
Shank	平滑軸部	ねじのない機能軸部
Shoulder	ショルダー	位置決め / 支持用の段部
Clamp Load	締付力	締結体の軸方向締付力
Preload	予荷重	締結部品の初期内部荷重
Fretting	フレッティング摩耗	小振幅接触による損傷
Galling	かじり	激しい凝着摩耗 / 焼付き
Runout	振れ	回転時の幾何偏差
Threadlocker	ねじロック剤	化学的ロックシステム
TCO	総保有コスト	ライフサイクルコスト
DVP&R	設計検証計画・報告	検証マトリクス
CTQ	重要品質特性	品質に重大な影響を与える特性
MSA	測定システム解析	測定システム能力
Cpk	工程能力指数	工程能力を示す指数

参考文献

> 本リストは公開メタデータ、要旨、公式技術資料に基づきます。ISO規格全文は著作権で保護されており、本プロジェクトでは全文を複製しません。最終公開前に、すべてのオンライン資料のURL、リビジョン、適用範囲を再確認してください。

[R1] Yang, G., Yang, L., Chen, J., et al. (2021). *Competitive Failure of Bolt Loosening and Fatigue under Different Preloads*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 34, 141. DOI: 10.1186/s10033-021-00663-3.
https://link.springer.com/article/10.1186/s10033-021-00663-3

[R2] Croccolo, D., De Agostinis, M., Vincenzi, N. (2011). *Failure analysis of bolted joints: Effect of friction coefficients in torque–preloading relationship*. Engineering Failure Analysis.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630710001676

[R3] du Maire, P., Hoffmeister, J., Öchsner, A., Johlitz, M. (2025). *Investigations On The Fatigue Strength Of Threads Produced By Different Fabrication Techniques*. 15th International Conference on Shot Peening / Purdue e-Pubs. DOI: 10.5703/1288284317919.
https://docs.lib.purdue.edu/icsp15/papers/fatigue1/2/

[R4] Chen, D. et al. (2019). *Tightening behavior of bolted joint with non-parallel bearing surface*. International Journal of Mechanical Sciences.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002074031833409X

[R5] SKF. *Golden opportunities / Fretting Corrosion*.
https://evolution.skf.com/golden-opportunities/

[R6] SKF. *Bearing damage analysis: ISO 15243 is here to help you*.
https://evolution.skf.com/bearing-damage-analysis-iso-15243-is-here-to-help-you/

[R7] Bulej, V., Kuric, I., Sága, M., et al. (2022). *Analysis of Symmetrical/Asymmetrical Loading Influence of the Full-Suspension Downhill Bicycle's Frame....* Symmetry, 14(2), 255. DOI: 10.3390/sym14020255.
https://www.mdpi.com/2073-8994/14/2/255

[R8] Pivot Cycles. *Mach 429 SL Carbon V3 Hardware / Small Parts Schematic*.
https://portal.pivotcycles.com/portalimages/techspec/Mach%20429%20SL%20V3%20Small%20Parts%20Schematic.pdf

[R9] Santa Cruz Bicycles Rider Support (2026). *Bearing and Pivot Axle Maintenance*.
https://ridersupport.santacruzbicycles.com/how-often-should-i-replace-bearings-and-pivot-axles

[R10] Specialized. Stumpjumper 15の現行製品ページ — サスペンションピボットベアリング交換サポート。
https://www.specialized.com/us/en/stumpjumper-15-expert-sram-gx-axs-fox-performance-elite/p/4221401

[R11] Håkansson, E. et al. (2017). *The role of corrosion product deposition in galvanic corrosion of aluminum/carbon systems*. Corrosion Science.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X16309659

[R12] Szpunar, M. et al. (2021). *Effect of Lubricant Type on the Friction Behaviours and Galling of Titanium Alloy*. Materials, 14(13), 3721.
https://www.mdpi.com/1996-1944/14/13/3721

[R13] Henkel. *Pre-applied adhesives and sealants*.
https://next.henkel-adhesives.com/us/en/articles/pre-applied-adhesives-sealants.html

[R14] Henkel. *LOCTITE DRI 2250-W*.
https://next.henkel-adhesives.com/us/en/products/industrial-adhesives/central-pdp.html/loctite-dri-2250-w/124651IB/variation/2879425.html

[R15] Liu, Z. et al. (2020). *Changing behavior of friction coefficient for high strength bolted joints during repeated tightening*. Tribology International.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X20303212

[R17] ISO 16047:2005 + Amd 1:2012. *Fasteners — Torque/clamp force testing*.
https://www.iso.org/standard/27788.html

[R18] ISO 16130:2015. *Aerospace series — Dynamic testing of the locking behaviour of bolted connections under transverse loading conditions*.
https://www.iso.org/standard/55728.html

[R19] ISO 9227:2022. *Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests*.
https://www.iso.org/standard/81744.html

[R20] ISO 4042:2022. *Fasteners — Electroplated coating systems*.
https://www.iso.org/standard/77913.html

[R21] ISO 4042:2022/Amd 1:2026. *Fasteners — Electroplated coating systems — Amendment 1*.
https://www.iso.org/standard/91743.html

[R22] ISO 15330:1999. *Fasteners — Preloading test for the detection of hydrogen embrittlement — Parallel bearing surface method*.
https://www.iso.org/ics/21.060.01.html

[R23] ISO/TR 20491:2019. *Fasteners — Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners*.
https://www.iso.org/ics/21.060.01.html

[R24] ISO 10683:2018. *Fasteners — Non-electrolytically applied zinc flake coating systems*.
https://www.iso.org/standard/70609.html

[R25] ISO 3506-1:2020. *Fasteners — Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners — Part 1*.
https://www.iso.org/standard/70045.html

[R26] ISO/TR 19852:2026. *Neutral salt spray test — Results of an international interlaboratory test and conclusions for practical application*.
https://www.iso.org/standard/86004.html

[R27] ISO 14993:2026. *Corrosion of metals and alloys — Accelerated test involving cyclic exposure to salt mist, dry and wet conditions*.
https://www.iso.org/standard/89968.html

[R28] Jun, J. et al. (2021). *Mitigation of Galvanic Corrosion in Bolted Joint of AZ31B and Carbon Fiber-Reinforced Composite Using Polymer Insulation*. Materials, 14(7), 1670.
https://www.mdpi.com/1996-1944/14/7/1670

[R29] Santa Cruz Bicycles Rider Support (2026). *Stop the Creak: A Guide to Silencing Your Bike*.
https://ridersupport.santacruzbicycles.com/creaking

[R30] Directive 2011/65/EU (RoHS).
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065

[R31] ISO 14021:2026. *Environmental statements and programmes for products — Self-declared environmental claims*.
https://www.iso.org/obp/ui/

[R32] ISO (2026). *New ISO standards bring clarity to chain of custody*.
https://www.iso.org/contents/news/2026/03/new-iso-standards-bring-clarity.html

[R33] ECHA. *Candidate List of Substances of Very High Concern*.
https://chem.echa.europa.eu/

[R34] ISO 4210-2:2023. *Cycles — Safety requirements for bicycles — Part 2*.
https://www.iso.org/standard/78077.html

[R35] ISO 4210-6:2023. *Cycles — Safety requirements for bicycles — Part 6: Frame and fork test methods*.
https://www.iso.org/standard/78081.html

[R36] Trek Bicycle Corporation. *Rail+ — High-powered e-MTB*. 現行の公開製品概要。
https://www.trekbikes.com/us/en_US/rail-plus-high-powered-emtb/

外部発行前に必要なPremFixer Fastenersエビデンス置換

次の内容は自社エビデンスを取得するまで、確定的な商用主張へ昇格できません。

- ☐ ±0.008 mmの安定した量産能力
- ☐ 選定CTQにおけるCpk ≥1.33
- ☐ 具体的な塩水噴霧時間
- ☐ Zn-Ni / PVDの具体的な耐食性能
- ☐ トルク–締付力曲線
- ☐ 振動下の締付力保持
- ☐ 再使用サイクル数
- ☐ エージング後のTi取外しトルク
- ☐ 合金鋼の水素脆化管理
- ☐ 塗布済み方式によるタクト時間短縮
- ☐ AOI検出範囲 / PPM
- ☐ 7–10日試作の実績記録
- ☐ BOM/SKU削減事例
- ☐ TCO顧客事例
- ☐ 保証 / フィールドデータ

結び

高性能フルサスペンション自転車のピボットシステムを、サプライチェーンで次のように単純化し続けるべきではありません。

> **「M8 / M10 / M12特殊ねじの見積り。」**

真の工学的な問いは、次です。

- この締結体の荷重はどこから来るか。
- 締付力はいくらか。
- ベアリングをどのように支持するか。
- どのインターフェースで微小すべりが起こり得るか。
- コーティングによって摩擦がどれだけ変わるか。
- Tiはかじりを起こすか。
- 鋼めっきに遅れ破壊のリスクがあるか。
- カーボンとアルミニウムをどのように絶縁するか。
- 泥水をどのように遮るか。
- 2年後に正常に分解できるか。
- 故障時に追跡できるか。

これらの問いへ、次を用いて項目別に回答できたとき：

図面 + 計算 + 試験 + データ + トレーサビリティ

ピボットハードウェアは初めて「低価値の金物」から次へ進化します。

> **自転車の信頼性を支える管理された機械サブシステム。**

PremFixer Fasteners V2.0の目標も明確です。

> **図面に適合するボルトを1本作るだけでなく、検証可能、量産可能、整備可能、追跡可能な自転車ピボットハードウェア・エンジニアリングシステムを構築する。**

V2.0 エビデンス版 — 正式本文 終了