

第15回若手科学者によるプラズマ研究会

核融合炉開発における 研究開発段階のコスト見積もり手法

Next
page

2012年 3月15日

濱田 敏弘

岡野研究室 D1

東大院 新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻

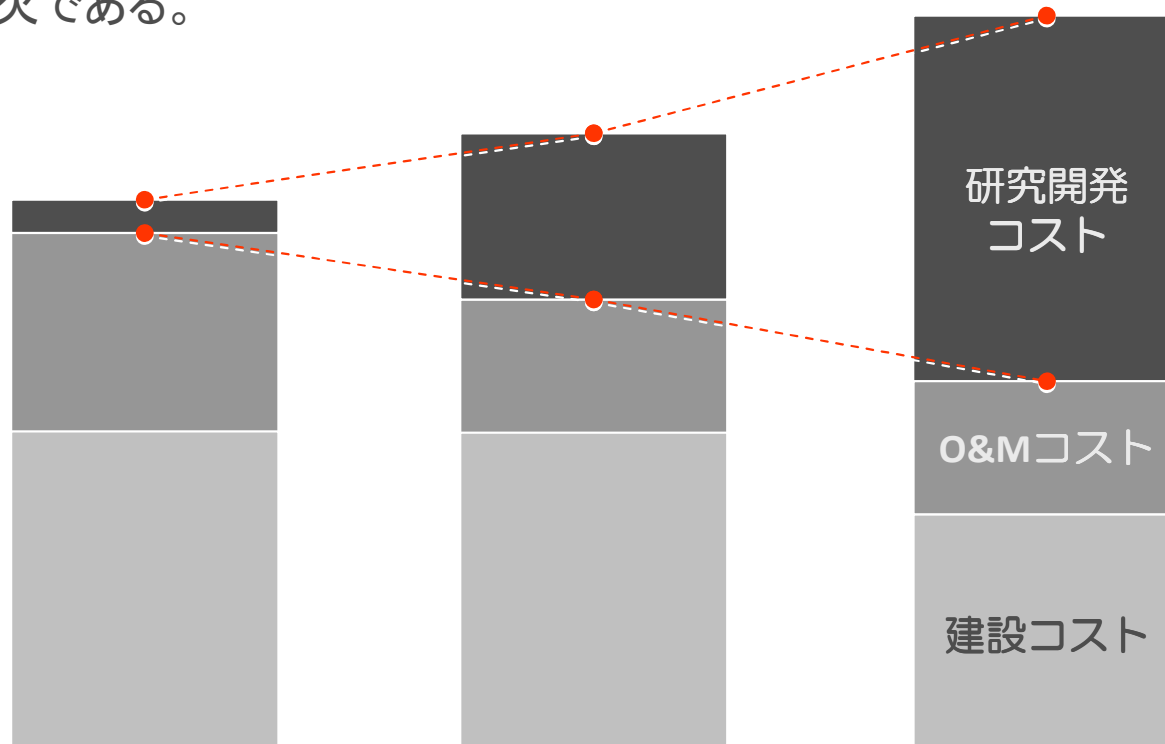
目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. どのように見積もるか？ – 見積対象
3. どのように見積もるか？ – 見積手法
 - インタビューによる方法
 - 統計解析による方法
4. 核融合研究への統計的見積もり適用可能性

Next
page

コスト全体の最適化のためには、研究開発コストを含めた見積もりが不可欠である。

先進的な技術は将来の建設コストやO&Mコストを下げるかもしれない。しかしともすれば研究開発コストが嵩み、全体としては増加となる可能性もある。全体最適のために、研究開発コストを含めた見積もりが不可欠である。



現状技術

将来技術

先進技術

- 運用コスト削減

- 建設コスト削減
- 運用コスト削減

先進技術であるほど
研究開発コストはかさみ、
全体コストを押し上げる。

Next
page

しかし...

どちらを進めるべきか？

研究開発費の絶対値で研究開発するべきかどうかを決められない。投資対効果を考える必要がある。まずは研究開発費の見通しを立てる必要がある。

先進技術A

10億円

研究開発費

先進技術B

1億円

研究開発費

予算:1億円

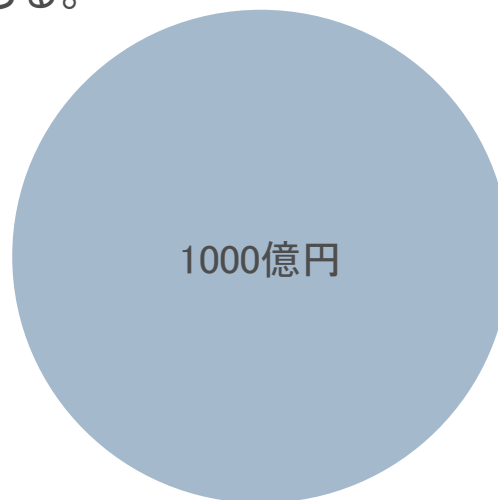
どちらを進めるべきか？

研究開発費の絶対値で研究開発するべきかどうかを決められない。投資対効果を考える必要がある。まずは研究開発費の見通しを立てる必要がある。

先進技術A



研究開発費



損益



先進技術B



研究開発費



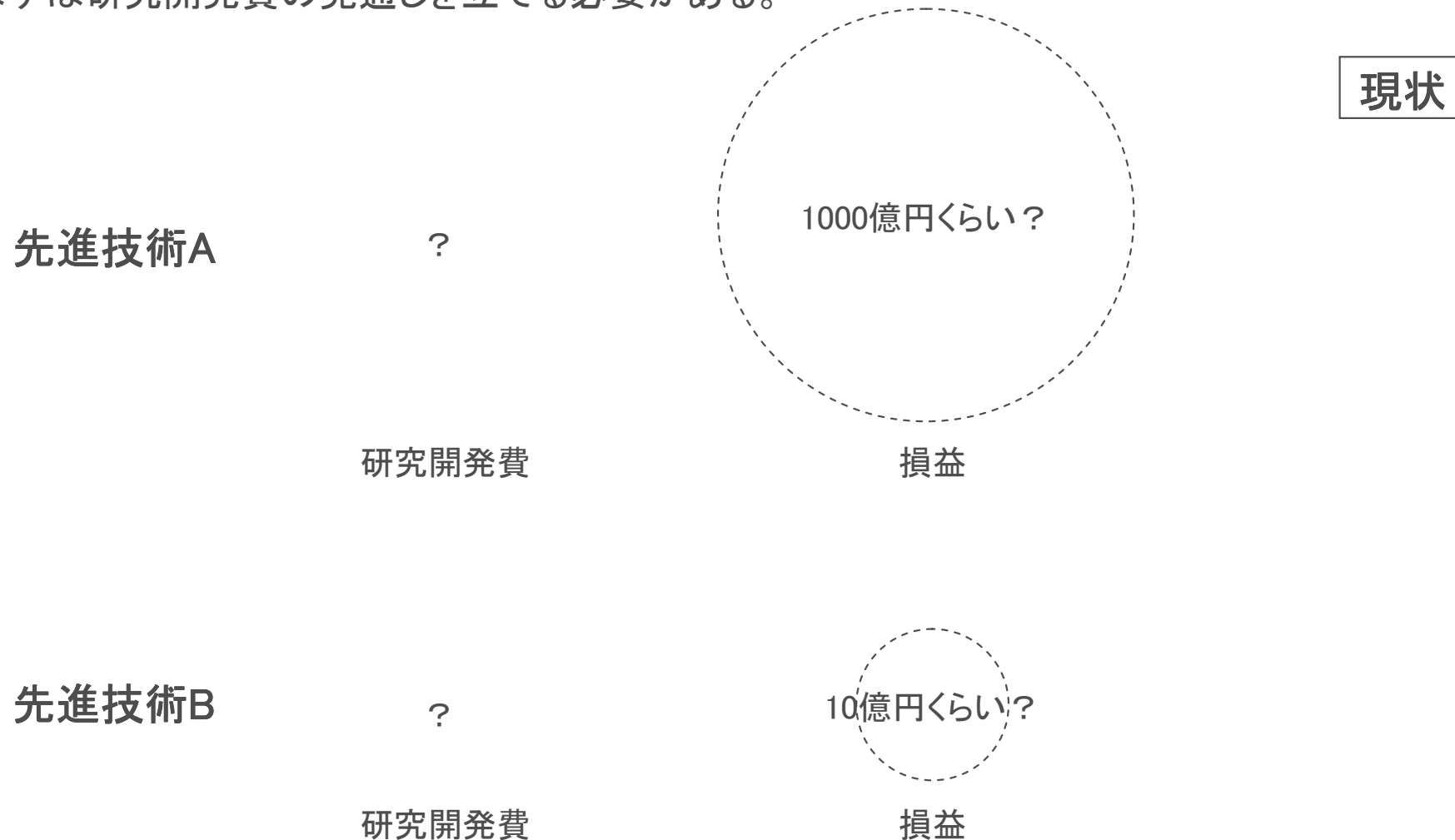
損益

損益：
・経済的損益
・技術的得失
・社会的受容度

予算：1億円

どちらを進めるべきか？

研究開発費の絶対値で研究開発するべきかどうかを決められない。投資対効果を考える必要がある。まずは研究開発費の見通しを立てる必要がある。



どちらを進めるべきか？

研究開発費の絶対値で研究開発するべきかどうかを決められない。投資対効果を考える必要がある。まずは研究開発費の見通しを立てる必要がある。

先進技術A

？

研究開発費

1000億円くらい？

損益

現状

先進技術B

？

研究開発費

10億円くらい？

損益

まずはここを
明らかにしたい

目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. **どのように見積もるか？ – 見積対象**
3. どのように見積もるか？ – 見積手法
 - インタビューによる方法
 - 統計解析による方法
4. 核融合研究への統計的見積もり適用可能性

Next
page

どのように見積もるか？ - 見積対象

再掲

原型炉建設に向けた研究開発対象項目および段階は、既に包括的に明らかにされている。よってこれらを対象に見積もりを実施する。

技術項目別、期間ごとのプロジェクト規模 (1)

| 技術領域 | 技術領域詳細 | 基礎設計段階 ~2014 R&D・設計研究規模(億円) | 工学設計段階 2015~2023 R&D・設計研究規模(億円) | 建設段階 2023~2035 建設時規模(億円) | 建設段階 金額割合 |
|------|--------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|
|------|--------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|

| | | | | | |
|------------|-------|----|-----|--------|---|
| 原型炉関連法規・基準 | | 2 | 20 | 20 | |
| 炉システム設計作業 | 設計作業費 | 10 | 300 | 0 | 0 |
| | | | | 各機器に含む | |

研究開発の段階・時間

| | | | | | |
|--------|--|----|------------------|-----------------|-------|
| トカマク本体 | TF, PF, CSコイル (線材8、構造8、試験9、16T用Nb3AL) | 25 | 150 | 1700 | 0.17 |
| | | | (Nb3AL 実証コイル含む) | | |
| | 真空容器・遮蔽 | 0 | 150 | 470 | 0.047 |
| | | | (セクターR&D含む) | | |
| | ダイバータ | 15 | 100 | 160 | 0.016 |
| | ブランケット | 0 | 50 | 0 | 0 |
| | | | (ブランケット周辺構造物の開発) | (以下のブランケットに含める) | |

Next page

研究開発の対象項目

| | | | | | |
|--------|-------|----|-----------------|-------------|------|
| ブランケット | 主概念 | 45 | 300 | 1600 | 0.16 |
| | ホットセル | 0 | 100 | 100 | 0.01 |
| | | | (ITER・TBMホットセル) | (ブランケット処理費) | |
| | 先進概念 | 45 | NA | NA | |

| | | | | | |
|----------|------------|----|----|----------------------|-------|
| トカマク周辺機器 | トカマク組立 治具 | 0 | 10 | 150 | 0.015 |
| | クライオスタット | 0 | 0 | 80 | 0.008 |
| | 1次冷却管配管 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | (各機器コストに含める) | |
| | 6-Li濃縮プラント | 10 | 20 | 160 | 0.016 |
| | | | | (現状の9kg/yで20億程度から算出) | |

目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. どのように見積もるか？ – 見積対象
- 3. どのように見積もるか？ – 見積手法**
 - インタビューによる方法
 - 統計解析による方法
4. 核融合研究への統計的見積もり適用可能性



どのように見積もるか？ - 見積手法

研究開発コストの見積もりを2つの手法により実施する。一つは専門家へのインタビューによる手法で、専門家自身の予測コストを直接収集する。もう一つは統計解析による手法で、“経験曲線”と呼ばれる既知の統計分布を利用し、過去の実績コストから外挿して間接的に将来コストを得る。

1. インタビューによる方法

- 専門家へ将来コストのインタビューを実施
- 専門家自身が予測した将来コストを収集
- “直接的”な見積もり手法

2. 統計解析による方法

- 統計解析により将来コストを予測
- 過去の実績コストを収集(インタビューによる方法実施と同時に行う)
- “経験曲線”と呼ばれる既知の統計分布、および過去の実績コストから外挿して得られる将来コストを求める
- “間接的”な見積もり手法

Next
page

目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. どのように見積もるか？ – 見積対象
3. どのように見積もるか？ – 見積手法
 - インタビューによる方法
 - 統計解析による方法
4. 核融合研究への統計的見積もり適用可能性

Next
page

将来の研究開発コストインタビュー： 原型炉に向けた研究開発一覧表の利用

再掲

原型炉建設に向けた研究開発対象項目一覧をベースに、将来コストならびにそれに関わる知見をインタビューする。

技術項目別、期間ごとのプロジェクト規模 (1)

| 技術領域 | 技術領域詳細 | 基礎設計段階 ~2014 R&D・設計研究規模(億円) | 工学設計段階 2015~2023 R&D・設計研究規模(億円) | 建設段階 2023~2035 建設時規模(億円) | 建設段階 金額割合 |
|------|--------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|
|------|--------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|

| | | | | | |
|------------|--|---|----|----|--|
| 原型炉関連法規・基準 | | 2 | 20 | 20 | |
|------------|--|---|----|----|--|

研究開発の段階・時間

| | | | | | |
|-----------|-------|----|-----|--------|---|
| 炉システム設計作業 | 設計作業費 | 10 | 300 | 0 | 0 |
| | | | | 各機器に含む | |

Next page

| | | | | | |
|--------|--|----|-------|-----------------|-------|
| トカマク本体 | TF, PF, CSコイル (線材8 構造8、試験9、16T用Nb3AL) | 25 | 150 | 1700 | 0.17 |
| | 真空容器・遮蔽 | 0 | 150 | 470 | 0.047 |
| | ダイバータ | 15 | 100 | 160 | 0.016 |
| | ブランケット | 0 | 50 | 0 | 0 |
| | | | 物の開発) | (以下のブランケットに含める) | |

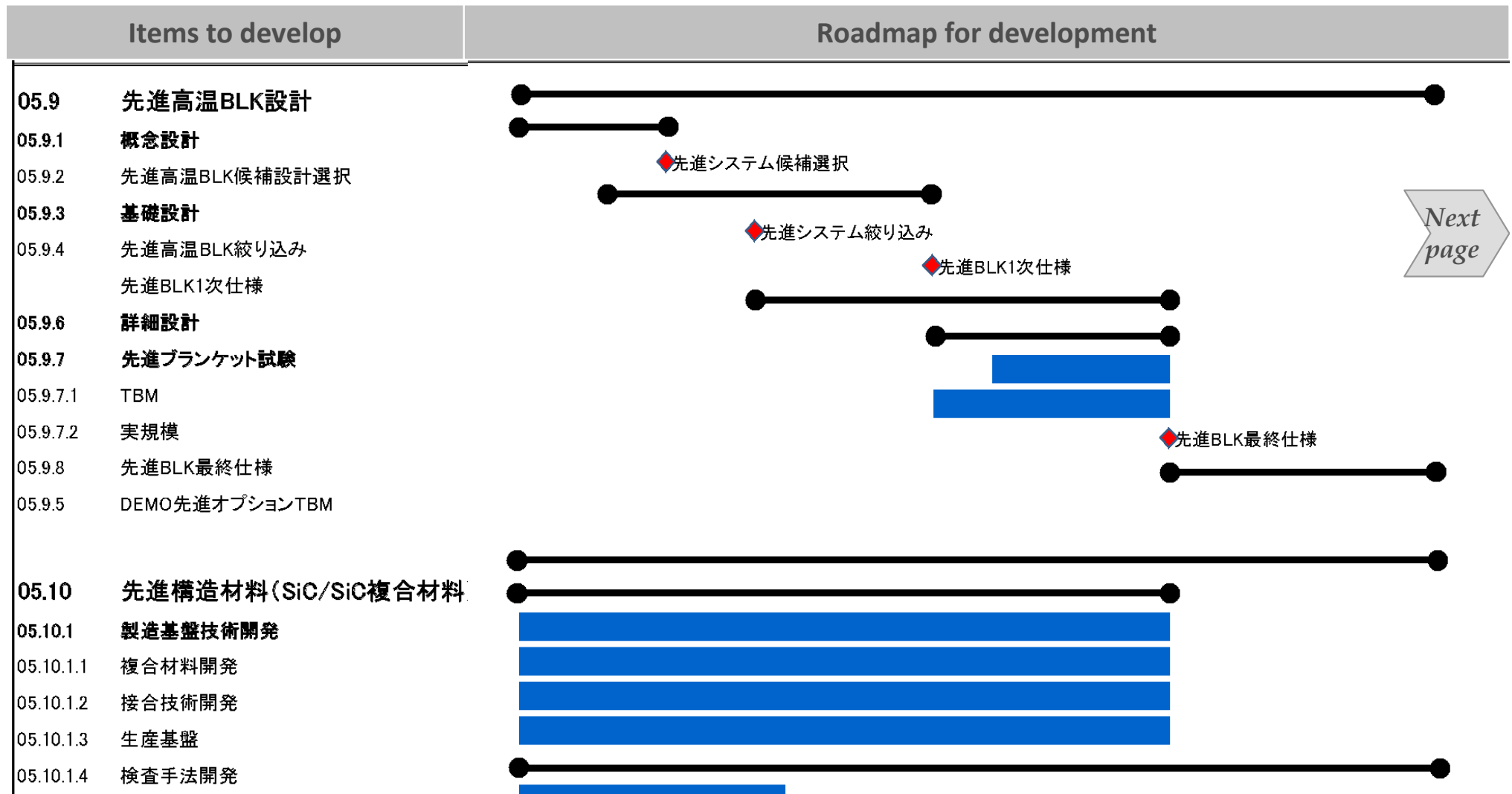
研究開発の対象項目

| | | | | | |
|--------|-------|----|-----------------|-------------|------|
| ブランケット | 主概念 | 45 | 300 | 1600 | 0.16 |
| | ホットセル | 0 | 100 | 100 | 0.01 |
| | 先進概念 | 45 | NA | NA | |
| | | | (ITER・TBMホットセル) | (ブランケット処理費) | |

| | | | | | |
|----------|-----------|---|----|--------------|-------|
| トカマク周辺機器 | トカマク組立 治具 | 0 | 10 | 150 | 0.015 |
| | クライオスタット | 0 | 0 | 80 | 0.008 |
| | 1次冷却管配管 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | (各機器コストに含める) | |

将来の研究開発コストインタビュー： 原型炉開発ロードマップの利用

過去の研究で作成されたロードマップを利用することで、研究開発の計画時期を知ることができる。



Next page

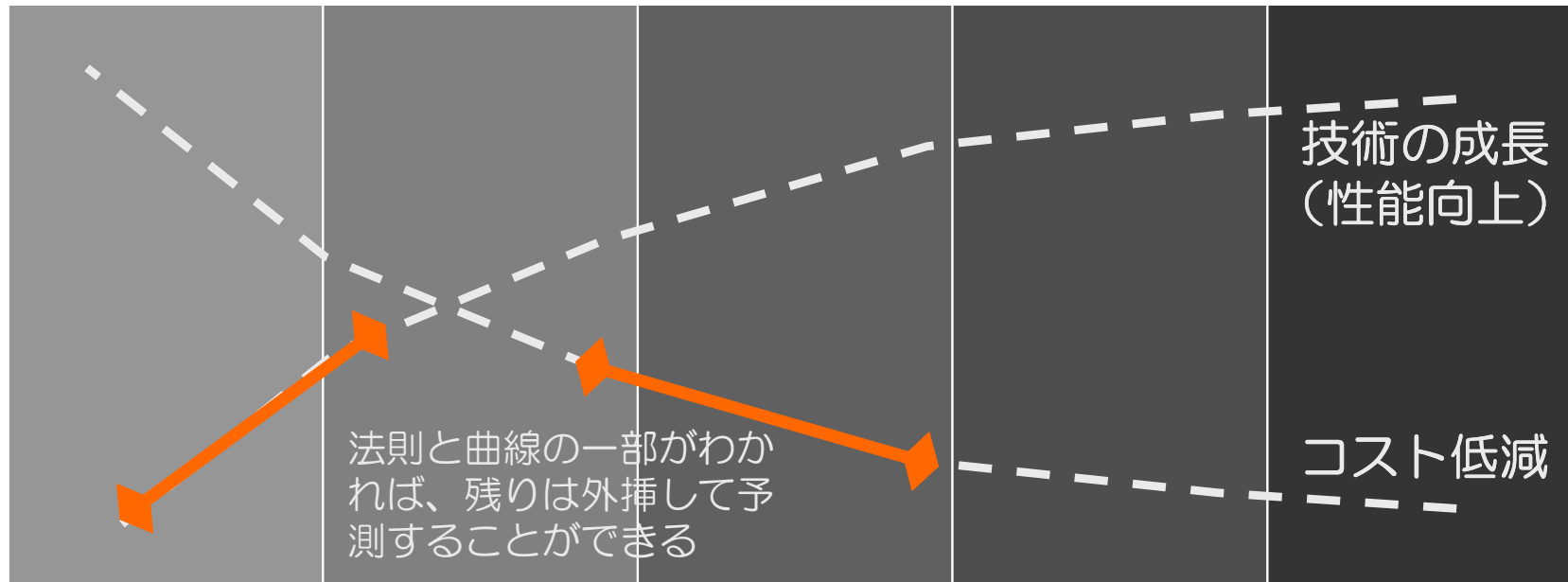
目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. どのように見積もるか？ – 見積対象
3. どのように見積もるか？ – 見積手法
 - インタビューによる方法
 - **統計解析による方法**
4. 核融合研究への統計的見積もり適用可能性

Next
page

コスト低減と技術の成長に法則性はないか？ 過去データを元に将来を予測する

コスト低減や技術の成長過程に一定の法則性があれば、過去のデータから将来を予測できる。それはわれわれの経験から考えるとおそらく曲線的なものになるだろう。技術の揺籃期では大きく変化し、成熟期では変化は小さいからである。



基礎研究
(理学研究)

応用研究
(工学研究)

技術開発
(企業での研究)

量産

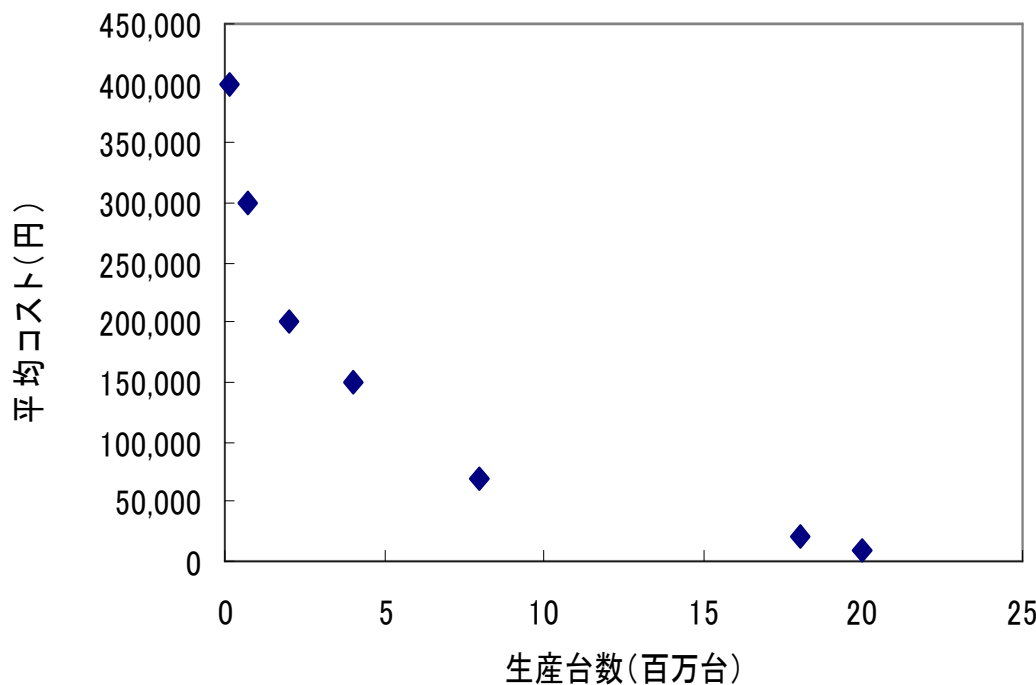
改良量産

技術の揺籃期

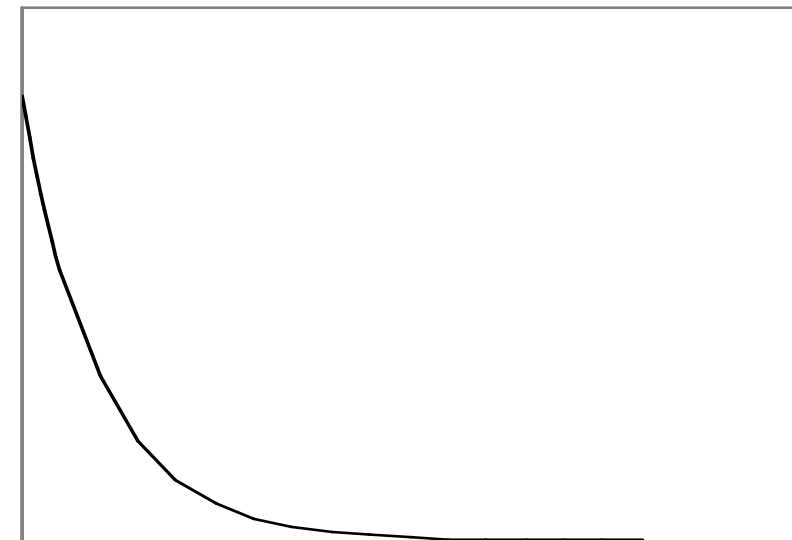
技術の成熟期

経験曲線効果： 例1) コスト変化の法則性

製品の累積生産量が増加するに従って、単位当たりの総コストが一定割合で減少していくことが経験的に知られており、これを経験曲線効果という。これらの関係はlogistics曲線やweibull曲線といった既知の曲線に近似できることが知られている。



電卓の経験曲線効果

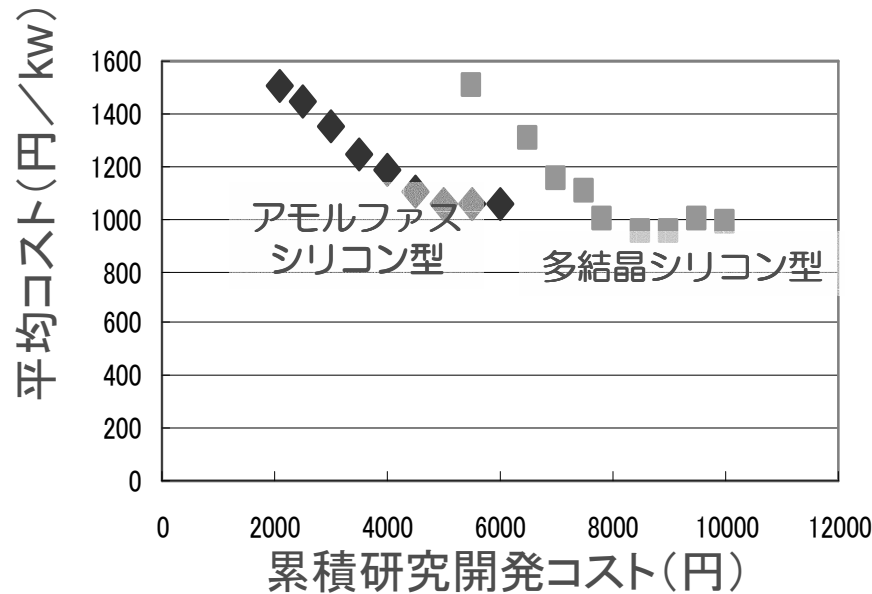


weibull曲線

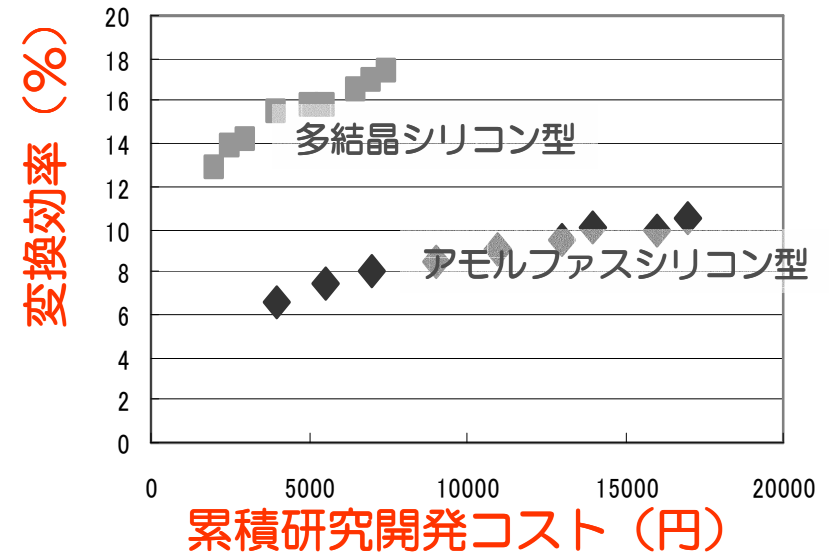
Next
page

経験曲線効果： 例2) 技術成長の法則性

サンシャイン計画における太陽電池の研究開発において、研究開発コストと変換効率の変化率の関係において、経験曲線効果があることが認められている。



太陽電池の経験曲線効果
(累積開発コストー生産コスト)

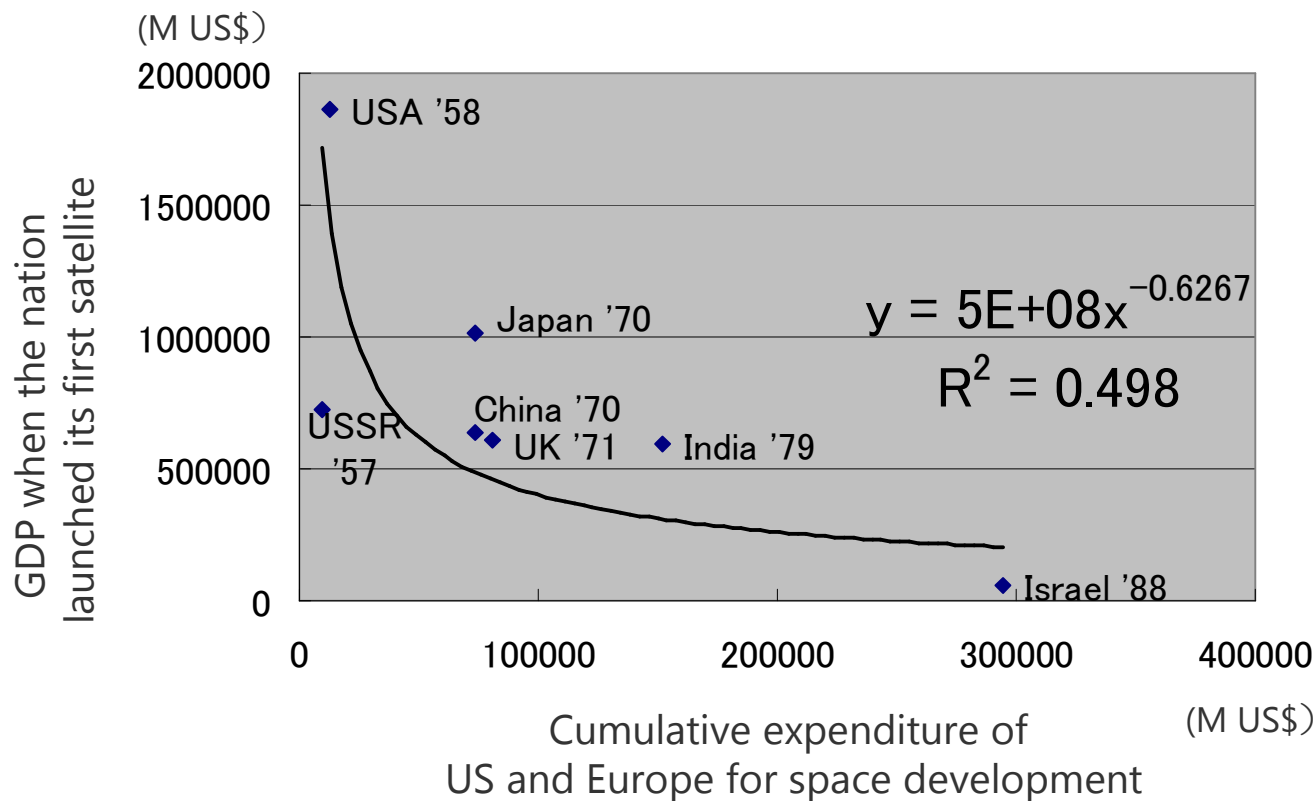


Next page

太陽電池の経験曲線効果
(累積開発コストー変換効率)

経験曲線効果： 例3) 業界参入障壁の変化の法則性 (※検証中)

宇宙開発産業において、世界の累積開発コストと、各国の初代衛星打ち上げ時のGDPの間には、
経験曲線効果が認められる ※検証中



Next page

GDP distribution when the nations launched their first satellite

下記データを元に著者が作成：

GDP Data Source :

National Accounts Main Aggregates Database, UN Statistics Division <http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnllist.asp> on 12th Nov 2011

Development Cost Data Source: JAXA2025/長期ビジョン 参考資料集 <http://www.jaxa.jp/about/2025/> on 12th Nov 2011

コストおよび知見の調査: 過去の歴史年表を使う

【超伝導コイルでの例】

| yr. | Facility | Org. | Magnetic Field | Current | Mag. × Curr. | Coil Energy | Curr. Density | Cost of Dev. | Remarks |
|------|----------|-----------------|----------------|---------|--------------|-------------|-----------------------|--------------|--|
| 1979 | | | 10.0 T | 1.0 kA | 10.0 T · kA | 9.9 GJ | 9.9 A/mm ² | | Development of strand |
| 1980 | | | 11.0 T | 1.1 kA | 12.1 T · kA | | | | |
| 1982 | TMC | | 10.0 T | 6.0 kA | 60.0 T · kA | | | | Development of coil I, immersed in freezing 12T, 6kA |
| 1985 | TMC | JAERI | 12.0 T | 7.0 kA | 84.0 T · kA | | | | |
| 1985 | TMC | | 12.0 T | 6.5 kA | 78.0 T · kA | | | | |
| 1986 | TRIAM-1M | Univ. of Kyusyu | 11.0 T | 6.2 kA | 68.2 T · kA | | | | |
| 1987 | LCT | | 9.0 T | 19.0 kA | 171.0 T · kA | | | | Development of coil II, Forced refrigeration. 35kA |
| 1989 | DPC | JAERI | 7.0 T | 17.0 kA | 119.0 T · kA | | | | |
| 1989 | DPC-EX | | 7.0 T | 17.0 kA | 119.0 T · kA | | | | |
| 1990 | US-DPC | | 6.6 T | 35.0 kA | 231.0 T · kA | | | | |
| 2000 | CSMC | | 13.0 T | 46.0 kA | 598.0 T · kA | | | | ITER Engineering R&D |
| 2001 | TFMC | | 7.8 T | 80.0 kA | 624.0 T · kA | | | | |

Next page

目次

1. はじめに – なぜ研究開発コストなのか？
2. どのように見積もるか？ – 見積対象
3. どのように見積もるか？ – 見積手法
 - インタビューによる方法
 - 統計解析による方法
4. **核融合研究への統計的見積もり適用可能性**

Next
page

核融合技術への適用可能性

～経験曲線効果の発生原因から見た定性的考察～

経験曲線が発生する原因は、定性的には労働者の能力向上、生産技術の向上、設計の最適化などが考えられている。これらは核融合の研究開発フェーズにおいても十分起こりえることである。よって経験曲線効果が適合する可能性があると考えられる。

- 労働者の能力向上
- 作業の専門化と方法の改善
- 新しい生産工程
- 生産設備の能力向上
- 活用資源ミックスの変更
- 製品の標準化
- 製品設計の最適化

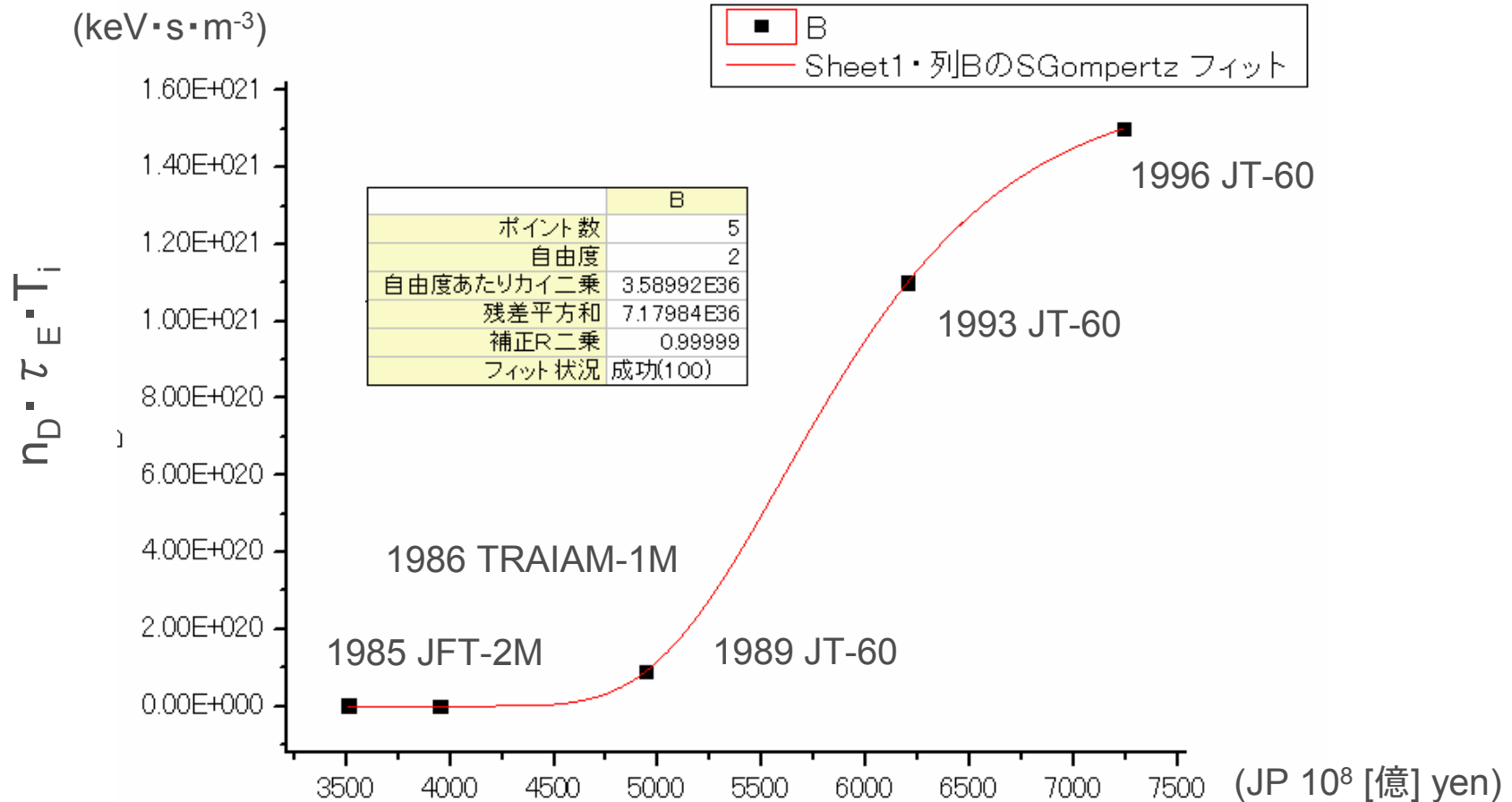
核融合の研究開発フェーズにおいても
十分起こりえる

⇒ 経験曲線効果が適用できる可能性がある

Next
page

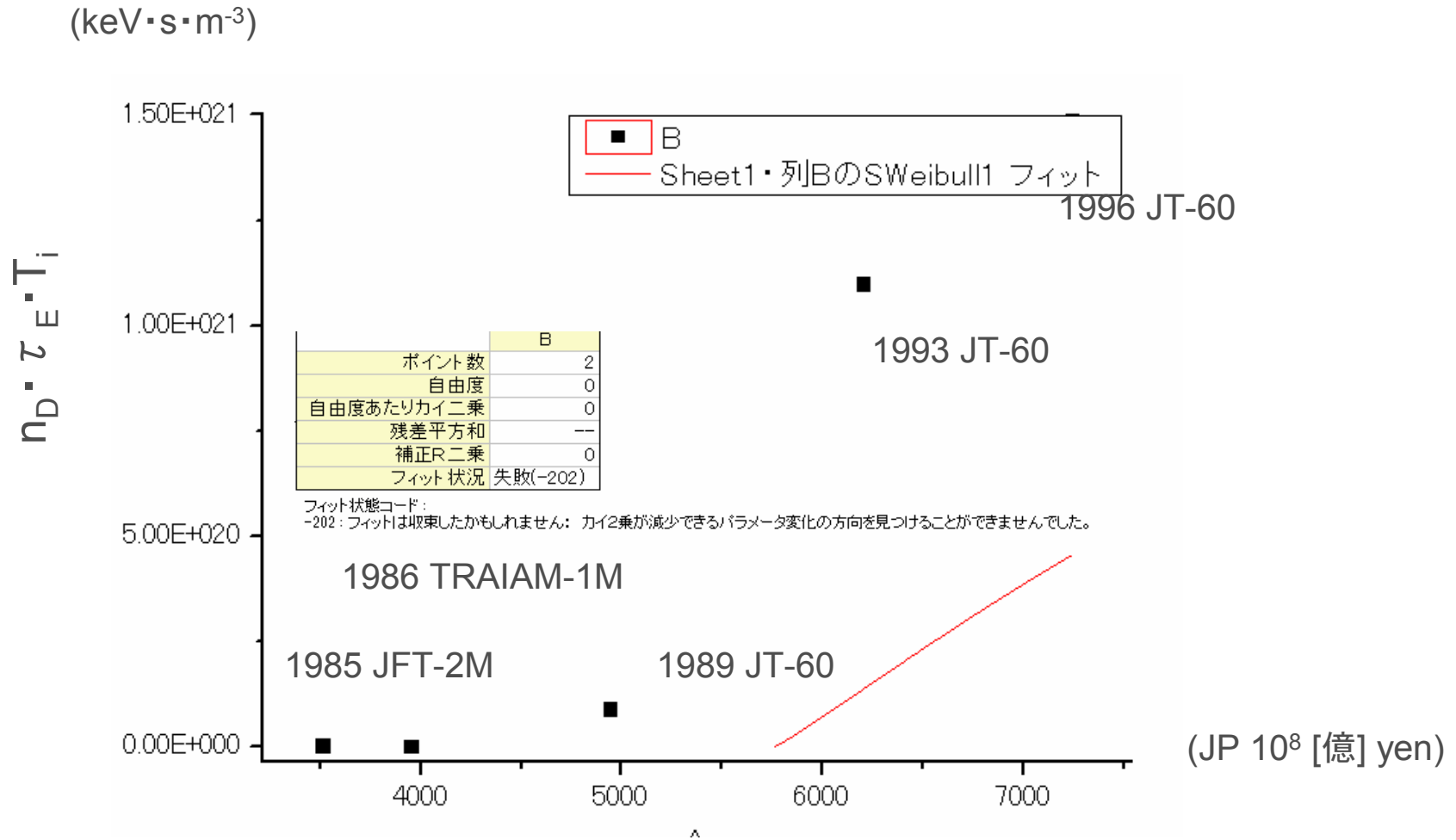
Appendix

Gomperz Curve Fitting (Under Testing yet)



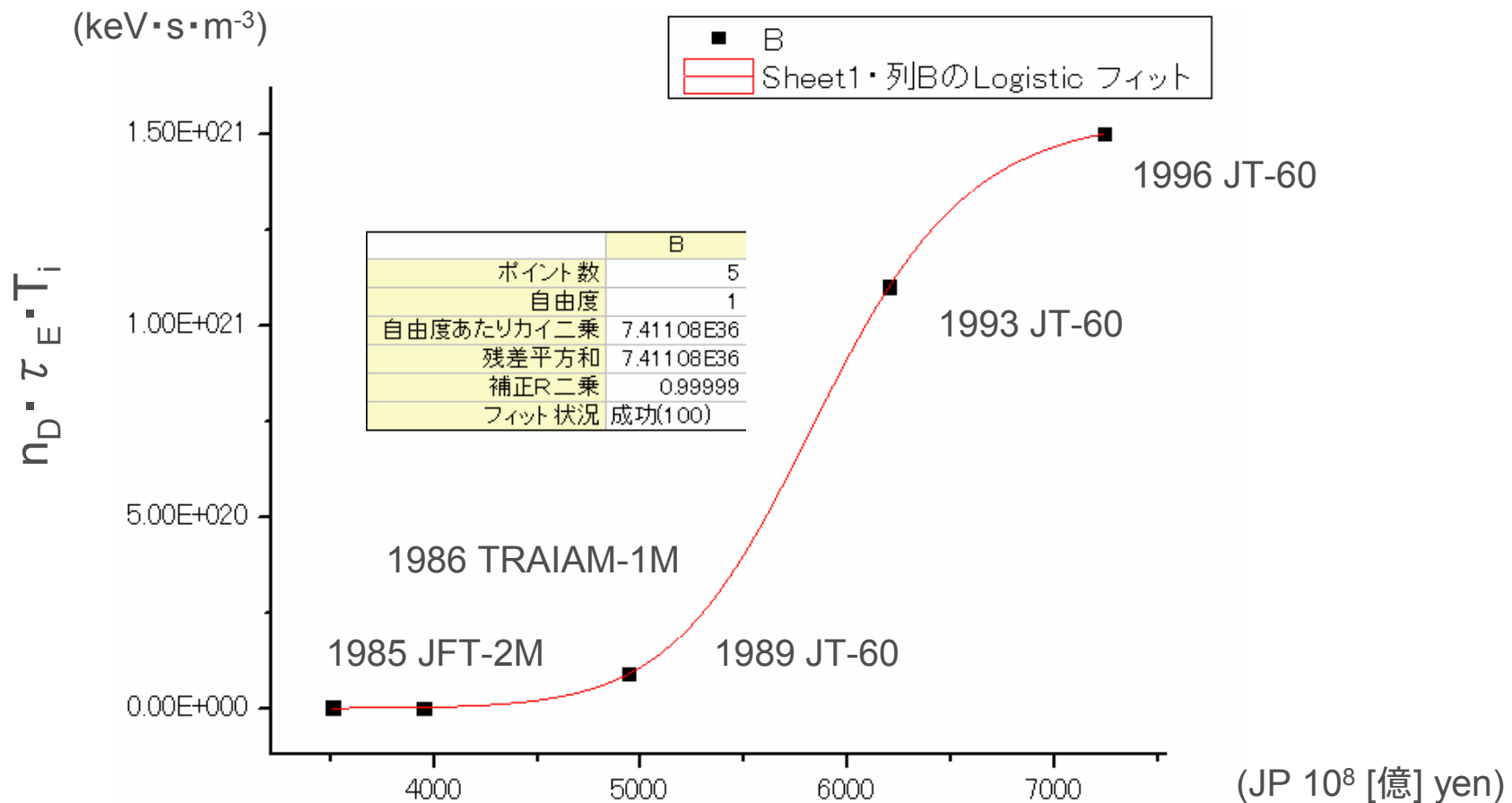
Cumulative expenditure of fusion 研究開発 in Japan

Weibull Curve Fitting (Under Testing yet)



Cumulative expenditure of fusion 研究開発 in Japan

Logistic Curve Fitting (Under Testing yet)



Cumulative expenditure of fusion 研究開発 in Japan

ご清聴ありがとうございました