

アイデアファクトリ テーマ7
サプライチェーンリスク評価シミュレータ

早稲田大学創造理工学研究科
経営デザイン専攻
高田祥三

1. 実施概要

1.1 研究概要

1.2 実施体制

1.3 個別実施事項

2. 実施成果

2.1 サプライチェーンリスクシミュレーションのイメージと問題点

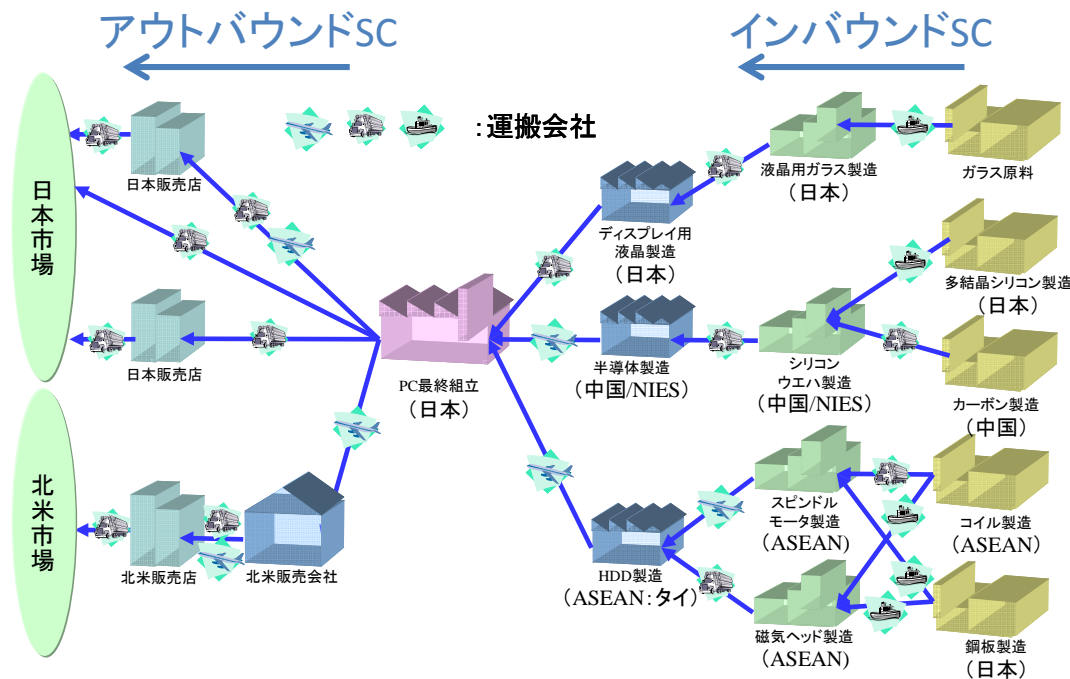
2.2 部品の特性評価に基づくサプライチェーンリスクマネジメント手法 (B²-SCRM: BOM Based Supply Chain Risk Management)

2.3 適用例

3. まとめと今後の課題

SCの抱える問題

- SCの効率化にともなうSCの脆弱化
 - SCMの進展による効率化の追求, 無駄の排除
 - 在庫最小化 ⇒ 不具合の影響を吸収できない
 - リードタイム短縮 ⇒ 不具合の影響が急速に伝播
- SCのグローバル化にともなうリスクの増大
 - SCのグローバル展開 ⇒ ロジスティクス, カントリーリスク等のリスク要因の増加



SCリスクに関わる事件の例

年	事件
1997	アイシン精機刈谷工場火災
2000	フィリップスセミコンダクタ, アルブクーク工場火災
2001	アメリカ同時多発テロ 狂牛病
2002	台湾大震災 アメリカ西海岸港湾施設閉鎖事件 旭化成レオナ工場火災
2003	新日鉄名古屋製鉄所爆発事故 ブリジストン栃木工場火災 SARS
2004	新潟県中越地震 マツダ宇品第一工場火災
2009	新型インフルエンザ
2011	東日本大震災, タイ洪水

研究目的(提案段階)

- 研究目的
 - グローバルに展開しているSCに潜む各種のリスクを組織的に洗い出し、定量的に評価することで適切な対策を講じるための、SCリスク評価シミュレータの要求仕様を作成する。
- 研究計画
 1. SCリスク管理に関する文献調査, およびSCリスクが顕在化した**事例の調査**を行う。
 2. SCに関するリスク事象を, 地震, 風水害, 交通障害, インフラ障害などの外部リスク事象と, 工場内の火災, 事故などの内部リスク事象に分け, 整理する。
 3. これらのリスク事象に関して, 国, 地域の特性を整理する。
 4. 各種のリスク事象の**因果関係**を, 外部および内部リスク事象, SC拠点の機能不全, およびSC全体の機能不全の間の因果連鎖として表現し分析するための**モデル化手法**を検討する。
 5. 上記の検討を基に, **評価シミュレータの要求仕様**を作成する。
 6. 作成した要求仕様に基づき, 簡単な事例を扱える評価シミュレータの**簡易版**を試作し, 設定した仕様の妥当性を確認する。

実施体制

- 高田 祥三 早稲田大学 創造理工学部 経営システム工学科 教授
- 日比野 浩典 (財)機械振興協会 技術研究所 生産技術部 システム課 技術主幹
- 由良 佳之 清水建設(株) エンジニアリング事業本部 物流エンジニアリング部 第2グループ グループ長
- 八木 淳一 デジタルプロセス(株) 技術ソリューション部 ディレクティブリサーチ エンジニア
- 絹谷 浩晃 (株)東芝 社会インフラシステム社 情報システム企画担当 グループ長
- 斉藤 昭男 (株)日立製作所 横浜研究所 所長付 兼 企画室
- 松下 直久 富士通(株) ものづくり推進本部 エグゼクティブプロダクト外エンジニア
- 山根 審治 (株)富士通総研 第2コンサルティング本部 ビジネスサイエンス事業部 シニア・マネジング・コンサルタント
- 石川 恵太郎 (株)富士通総研 第2コンサルティング本部 ビジネスサイエンス事業部 シニアコンサルタント
- 村木 俊之 ヤマザキマザック(株) 開発設計事業部 新技術開発部 第3グループ グループリーダー

個別実施事項(平成24年)

- 第1回(通算第5回)会議(2012年5月16日)
 - 企業での事例のヒアリング結果
 - 部品特性評価に基づくSCRMの検討
- 第2回(通算第6回)(2012年6月8日)
 - 部品特性評価に基づくSCRM手法のHDDへの適用の検討
- 第3回(通算第7回)(2012年8月3日)
 - 部品特性評価に基づくSCRMでの対策案策定手順の第1段階, 第3段階評価の検討
- 第4回(通算第8回)(2012年9月25日)
 - 部品特性評価に基づくSCRMでの対策案策定手順の事例を用いた詳細検討
- 第5回(通算第9回)(2012年10月23日)
 - 部品特性評価に基づくSCRM手法のHDDへの適用結果
 - それに基づく評価手順の詳細検討
- 第6回(通算第10回)(2012年11月27日)
 - 部品特性評価に基づくSCRMでの各対策の導入効果の算定方法の検討
- 第7回(通算第11回)(2012年12月18日)
 - 部品特性評価に基づくSCRM手法を具体的な部品へ適用することによる全手順の確認
- 第8回(通算第12回)(2013年3月19日)
 - 部品特性評価に基づくSCRM手法の全体説明と今後の課題の検討

1. 実施概要

1.1 研究概要

1.2 実施体制

1.3 個別実施事項

2. 実施成果

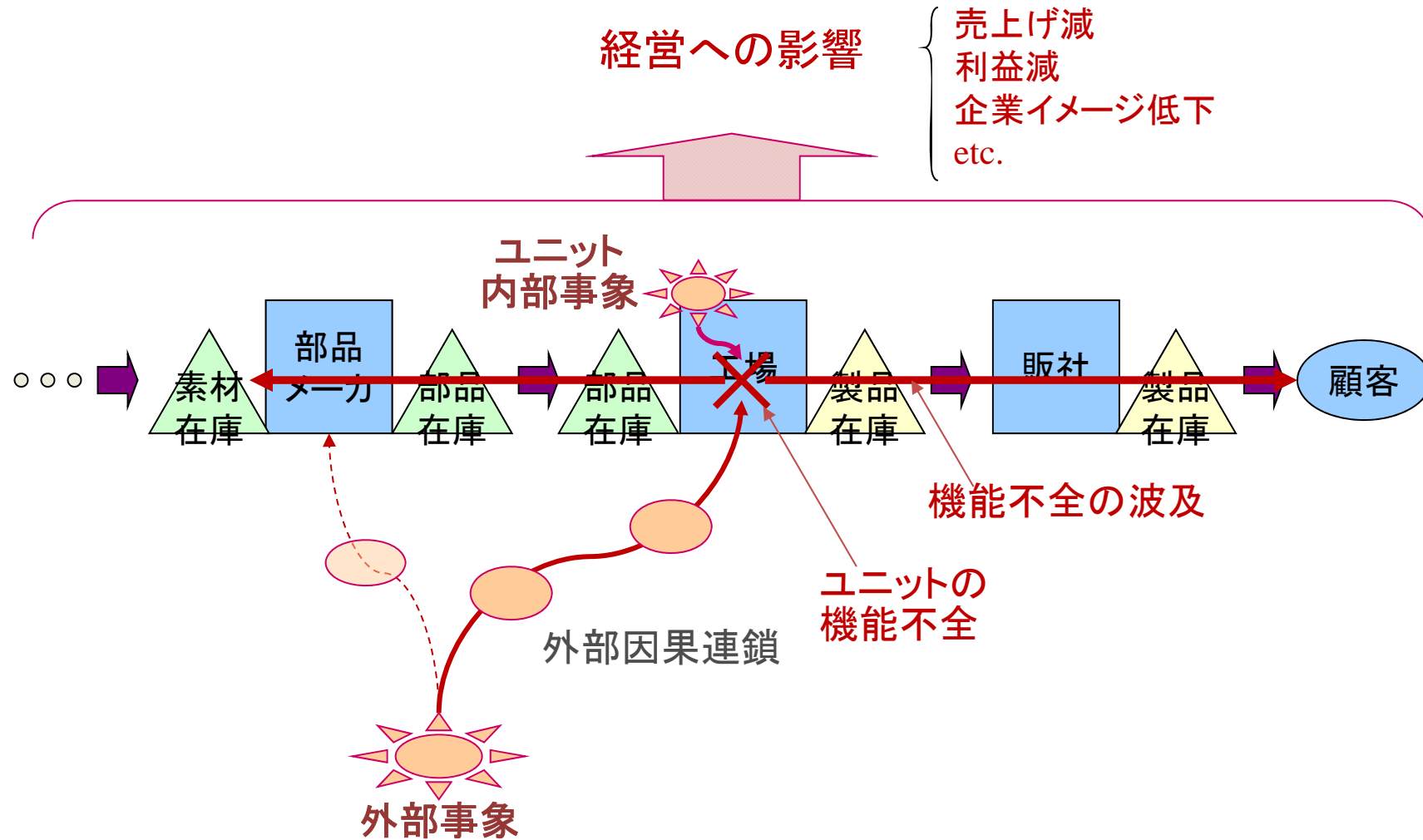
2.1 サプライチェーンリスクシミュレーションのイメージと問題点

2.2 部品の特性評価に基づくサプライチェーンリスクマネジメント手法 (B-SCRM: BOM Based Supply Chain Risk Management)

2.3 適用例

3. まとめと今後の課題

SCリスク事象の影響伝播



SCRMに関する研究分野

SCに関するリスク事象の発生確率などに関する研究

リスク事象発生がSC上のノードに与える影響に関する研究

サプライチェーン上のノードの停止によるSC全体の供給停止に関する研究

SCRリスク対策

リスク事象自体の発生確率を下げる対策

- 防火対策、賃上げ(ストライキ防止)、感染症予防等

リスク事象発生による直接被害を低減させる対策

- 耐震補強、防波堤建設等

供給再開を早める対策

- 代替生産設備の保持、在庫保持等

対策効果の評価

リスク・カテゴリを仮定して、特定のノードに関する事象の発生と影響を評価する。

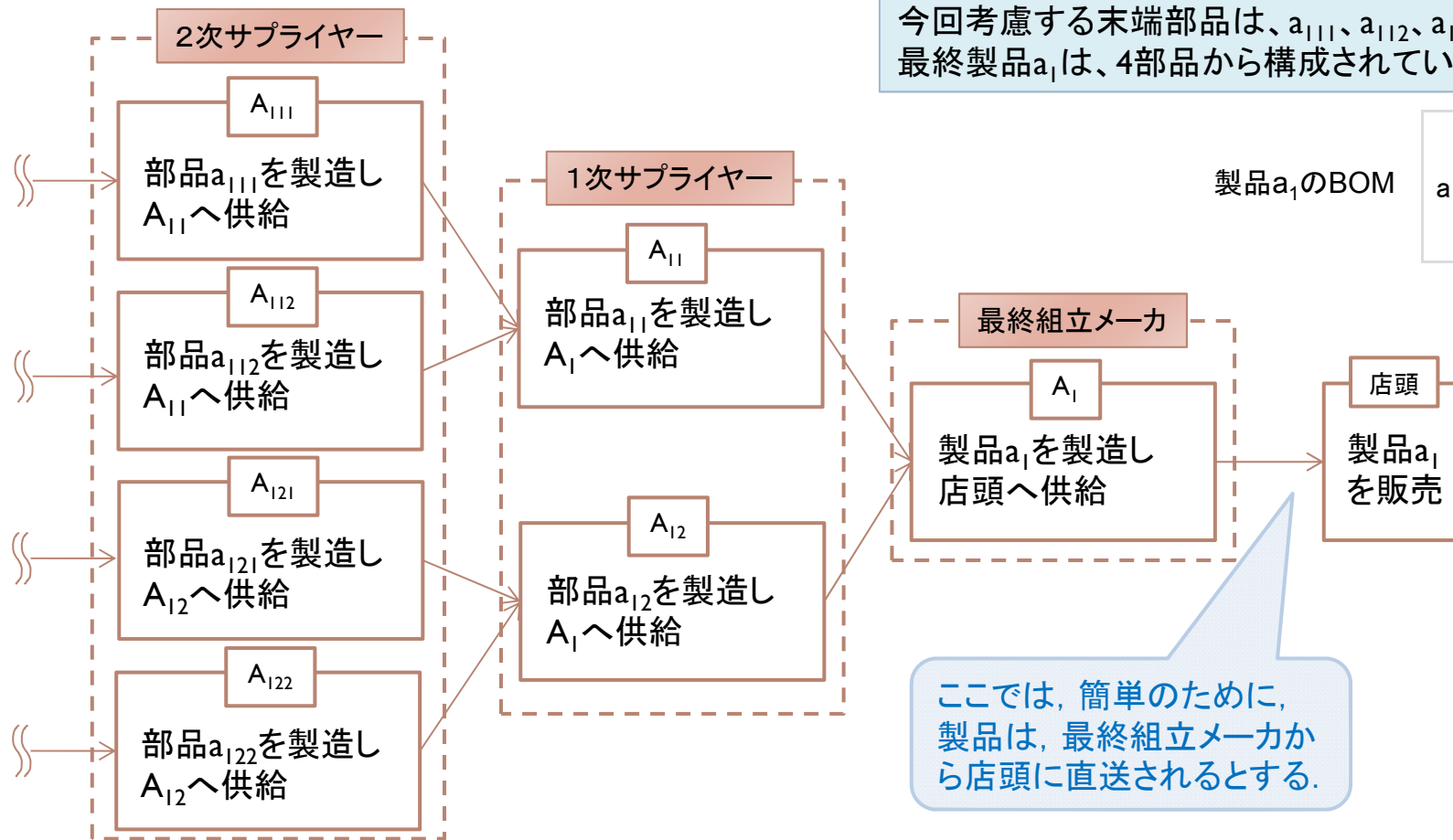
リスク事象発生時の欠品発生状況や欠品期間を推定することで、対策の効果の評価する。

対策効果の評価シミュレーションのイメージ

- 複数サプライヤからの供給などの対策の効果を評価するシミュレーションのイメージ

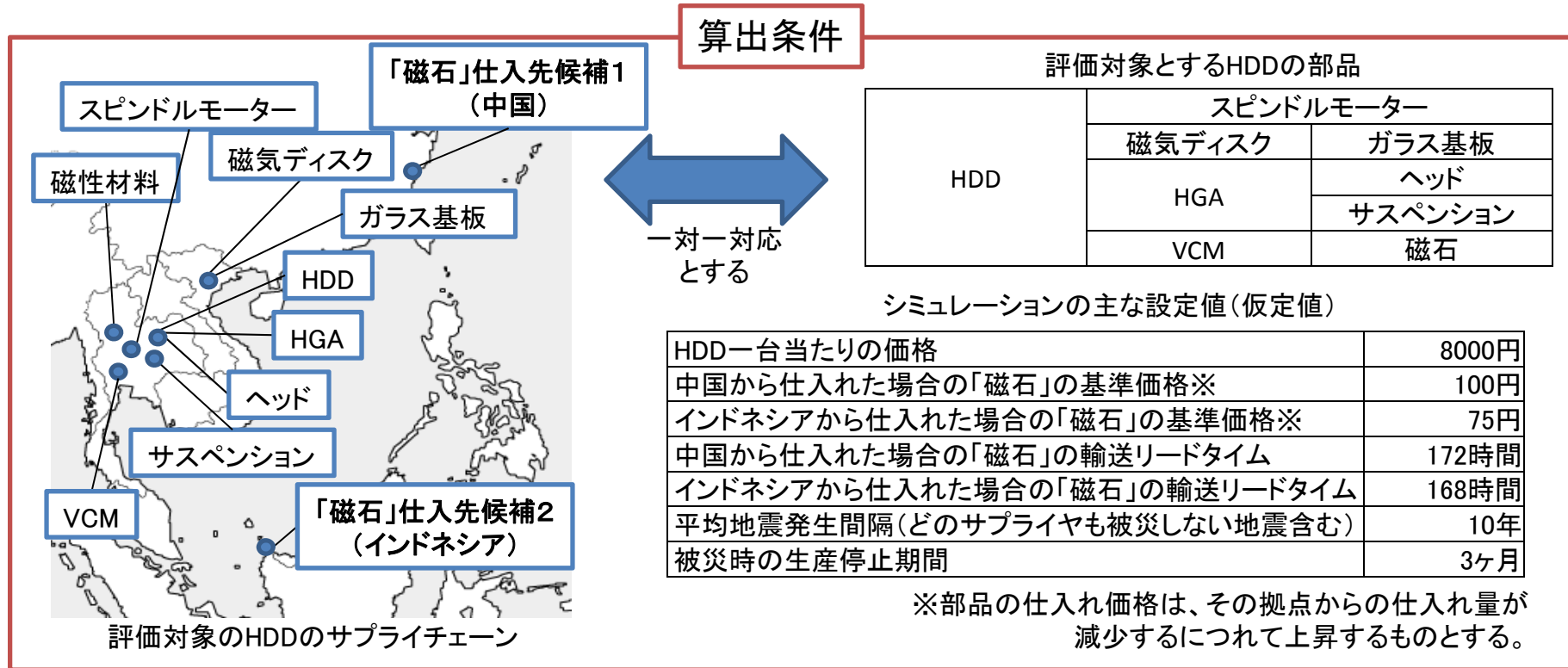
サプライヤー A_{ooo} で作られる部品 (製品) を a_{ooo} とする。

今回考慮する末端部品は、 a_{111} 、 a_{112} 、 a_{121} 、 a_{122} とし、最終製品 a_1 は、4部品から構成されていると考える。



ハードディスクドライブのサプライチェーンへの適用

- HDD製造用磁石の仕入れ先(調達比率)の最適化の検討例.



中国からの「磁石」の調達比率	100%	95%	90%	...	10%	5%	0%
インドネシアからの「磁石」の調達比率	0%	5%	10%	...	90%	95%	100%
地震発生時の期待出荷台数				...			

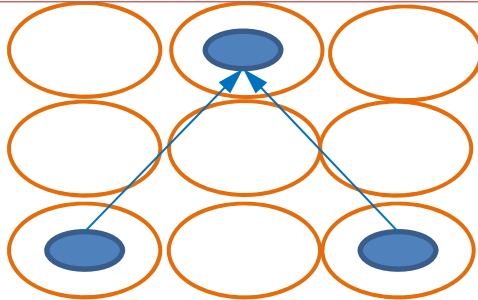
各調達比率での
期待出荷量を算出

サプライチェーン構造の違いによる被害額の差

組立メーカーは、どの部品が欠けようとも生産ができなくなってしまうので、サプライヤの配置が分散するほど、組立メーカーが生産停止に陥る確率が上昇する。

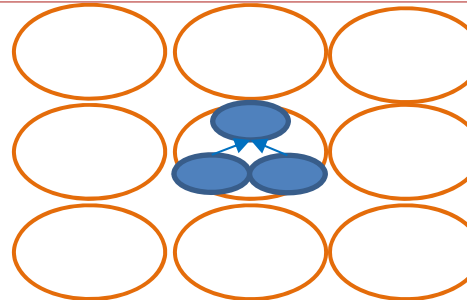
位置の違いによる生産停止確率の違いの例

サプライヤが密集していない場合



この場合のサプライヤの
機能停止確率は $\frac{3}{9}$

サプライヤが密集している場合



この場合のサプライヤ
の機能停止確率は $\frac{1}{9}$

● : サプライチェーン上のノード
○ : 地震により生産が停止するノードの範囲

位置のトレードオフ

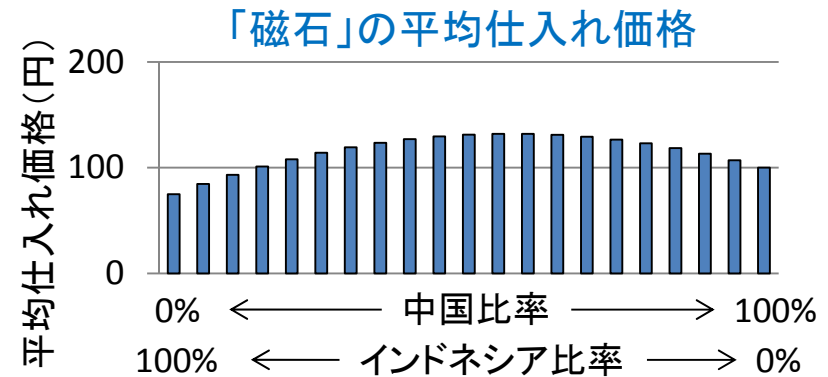
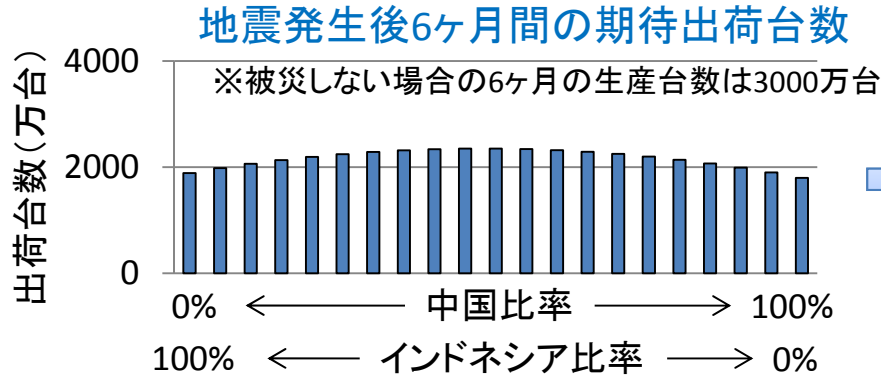
遠いサプライヤに発注すると
サプライヤ機能停止確率が増大

- サプライヤが分散するほど、そのうちのどれかが被災する確率が高まる。

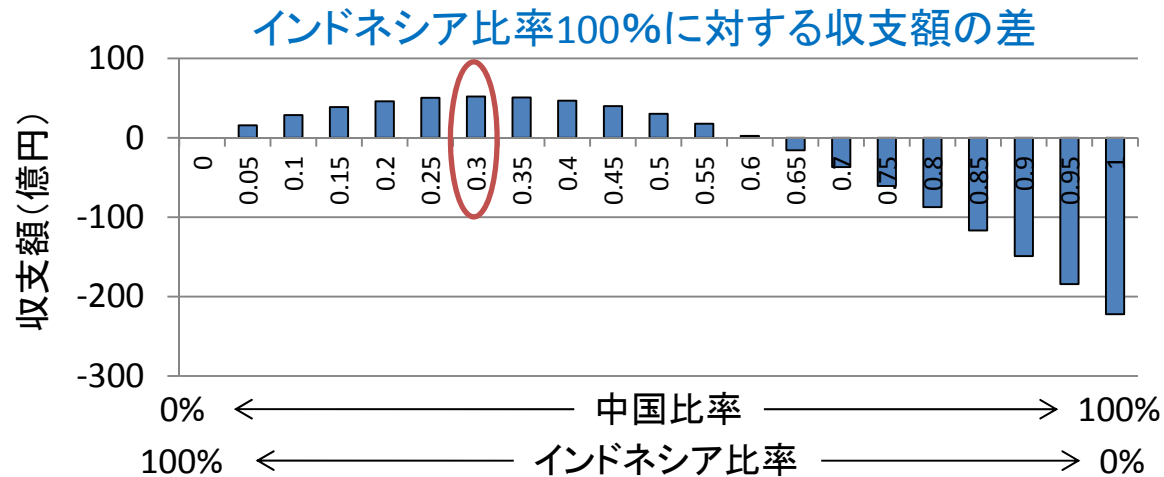
近いサプライヤに発注すると
被災時の欠品期間が増大

- 近いサプライヤに注文すると、輸送中在庫が減少するため、欠品期間が増加する。

シミュレーション結果



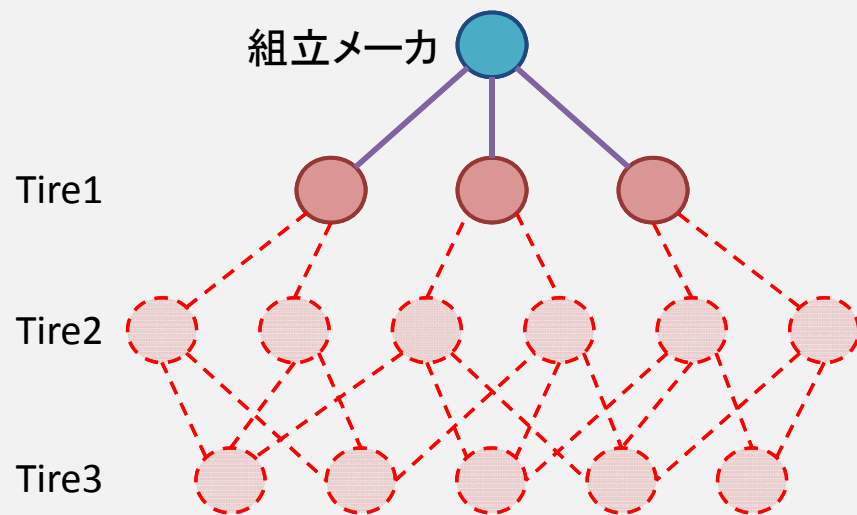
分散による被災時の出荷台数の増加による売上金額の増加額(対策の適用効果)から仕入れ価格上昇による10年間のコスト増分(対策の適用費用)を引いた収支額を算出



今回のモデルの場合、[中国]:[インドネシア] = 30:70 付近で費用対効果が最大となる。

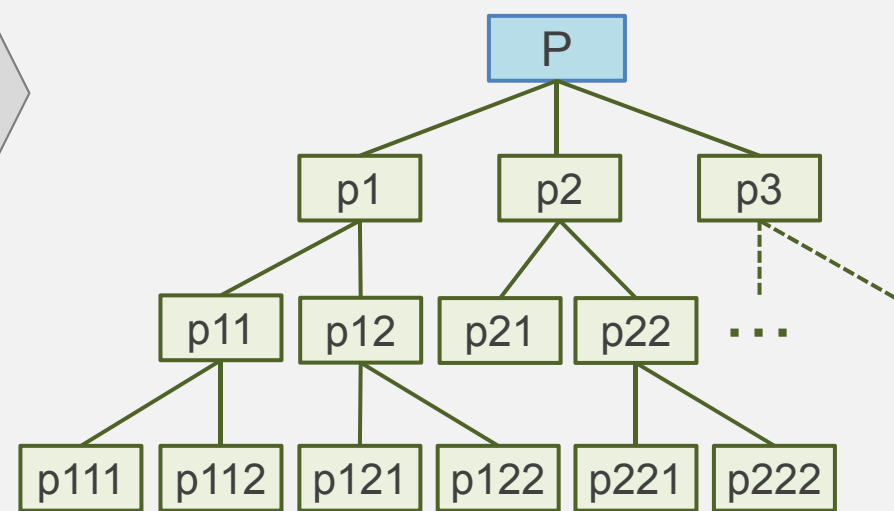
SC構造に着目したSCRMの問題

SC構造に着目したSCRM



- SC構造に基づいて対策案を検討する手法では、SC構造が既知であることが前提。
- ところが、組立メーカーにとっては、Tier2以降のSC構造が不明なことが多い。

製品BOMに着目したSCRM



- SC構造ではなく、BOMに着目する。
- 組立メーカーが、BOM上の部品の設計・製造に関して十分な知識を有しているとする。
- 部品の作り易さなどの特性に基づいて対策案の適応可能性を評価する。

1. 実施概要

1.1 研究概要

1.2 実施体制

1.3 個別実施事項

2. 実施成果

2.1 サプライチェーンリスクシミュレーションのイメージと問題点

2.2 部品の特性評価に基づくサプライチェーンリスクマネジメント手法 (B-SCRM: BOM Based Supply Chain Risk Management)

2.3 適用例

3. まとめと今後の課題

BOM Based Supply Chain Risk Management (B²-SCRM)

- 目的
 - 製品を構成する部品の、欠品リスクに対する対策の、費用対効果の評価を行う。
 - この際、サプライチェーン構造やサプライヤに関する情報を使用せず、製品を構成する部品に関する情報に基づいて評価を行う。
- 本手法を用いる組立メーカーに対する前提条件
 - サプライヤに関する完全な情報は得られない。
 - 対象製品のBOMを有している。
 - BOM上の各部品の設計・製造に関する十分な知識を有している。

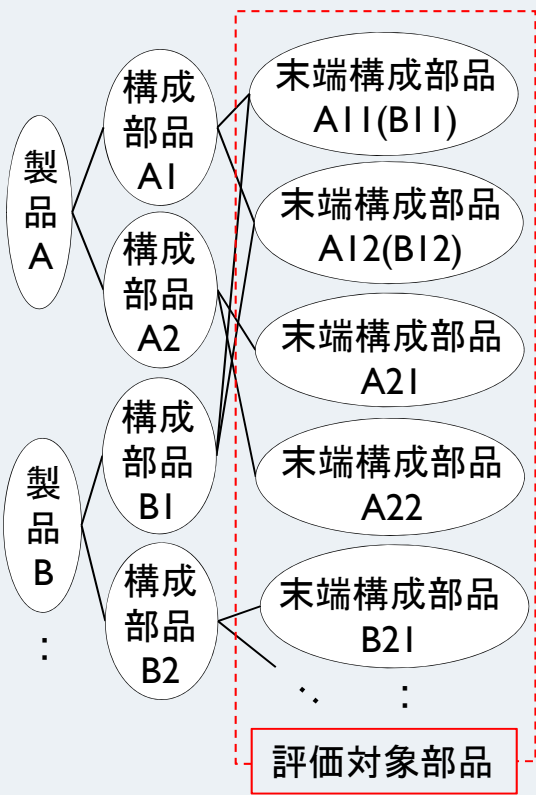
B²-SCRMで扱う対策

- 欠品リスクに対する対策を，緊急時に製造を行う生産設備と，製造のタイミングの観点から以下のように分類する。

	障害発生前から製造	障害発生後に製造
既存の生産設備の活用	<p><u>1. 在庫の保持</u> 常時一定量の在庫を保持しておく。</p>	<p><u>2. 生産拠点の移転</u> 緊急時に設備・人員を別の工場に移動するための計画を立案しておく。</p>
他の生産設備の活用	<p><u>3. 生産拠点の複数化</u> 一つの部品を異なる複数の拠点から日常的に供給を受ける。</p>	<p><u>4. 代替部品の使用(事前検査等あり)</u> 生産拠点の複数化とは異なり、代替サプライヤから日常的に供給は受けないが、有事の際に可能な限り早く代替できるように、品質検査等を事前に行っておく。</p> <p><u>5. 代替部品の使用(事前検査等なし)</u> 上記と同様に、緊急時に代替供給を受けるために代替部品を抽出しておくが、品質検査等の準備を行っていない分、代替供給開始時刻は遅れる。</p>

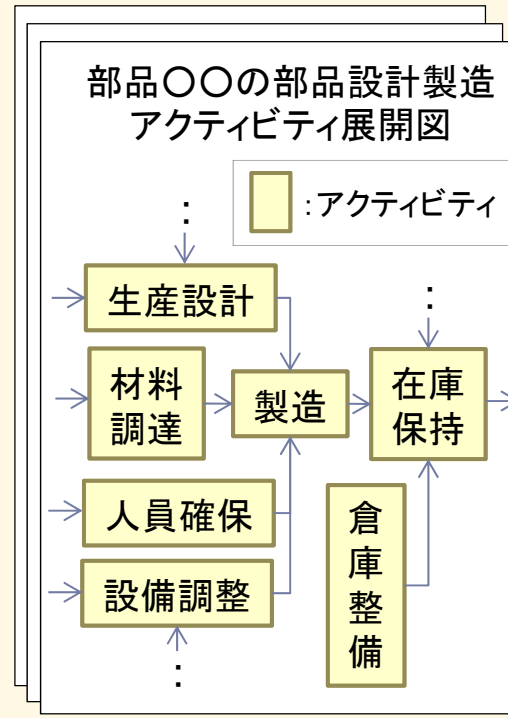
**[第1段階]
欠品影響度評価**

各製品の売上げを調査し、
製品と使用部品を関係付ける。



**[第2段階]
部品特性評価**

部品ごとに製造に必要な
アクティビティを抽出し、
それぞれの実行コスト等を評価



**[第3段階]
対策の費用対効果の算出**

対策ごとに、各アクティビティの
実行タイミングを規定する

	対策1	対策2	...	対策N
アクティビティ1	前	×	...	後
アクティビティ2	前	後	...	×
:	:	:	:	:
アクティビティM	前	後	...	後

「前」: 事前実行,
「後」: 事後実行,
「×」: 実行しない

アクティビティの実行費用と
事前実行による欠品期間短縮効果から費用対効果を算出する

[第1段階]各部品の欠品影響度評価

1-1 汎用部品の判断

汎用的な部品でかつ市場に在庫が潤沢に存在する部品については、対策は不要とする。

1-2 製品の欠品影響度の評価

(製品 I の欠品影響度 S_I)
 $= (\text{価格 } p_I) \times (\text{期あたりの販売量 } q_I) \times (\text{戦略製品度 } \alpha_I)$

戦略製品度 α の決定要因の例

1. 企業ブランドの低下
 - ▶ 製品の供給停止によるマイナスイメージによる損失
2. オプション品や消耗品の売り上げ低下
 - ▶ 対象の製品に付随して購入されるものの売上減少額 など

1-3 部品の欠品影響度の評価

製品と部品の使用関係を特定し、使用する製品の欠品影響度の和を各部品の欠品影響度とする。

(部品 i の欠品影響度)

$$= \sum_{j \in (\text{部品 } i \text{ 使用製品群 } \Phi_i)} S_j = \sum_{j \in \Phi_i} p_j q_j \alpha_j$$

	部品1	部品2	部品3	...	部品i
製品1	○	○	×	...	×
製品2	○	○	○	...	×
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
製品I	○	○	○	...	○

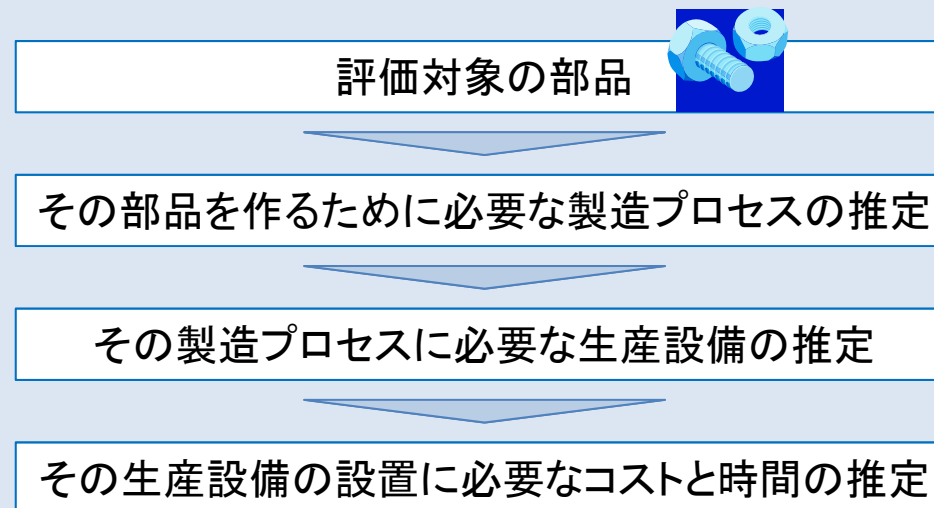
製品と部品の関係性規定のイメージ

[第2段階]各部品の部品特性評価(1/2)

- 部品特性評価の考え方

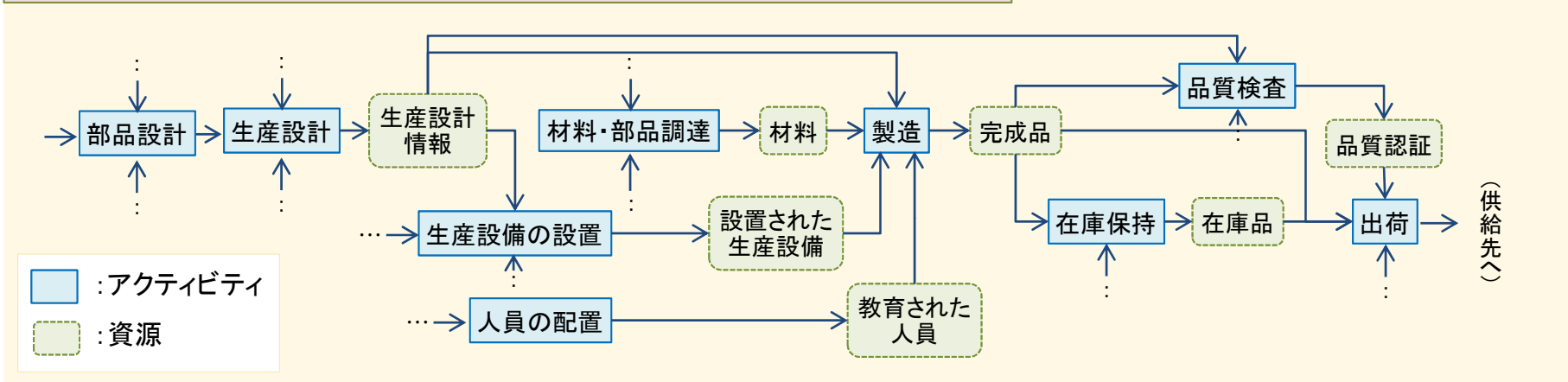
- ▶ 評価対象部品の製造に必要な資源やアクティビティを部品から推定する.
- ▶ アクティビティの実行にかかるコスト, 時間等を, 同様に部品から推定する.
- ▶ この際, サプライヤに対する調査は想定しない.

「生産設備の設置」アクティビティの例



[第2段階]各部品の部品特性評価(2/2)

2-1 評価対象部品の製造に必要な資源とアクティビティの列挙



2-2 アクティビティパラメータの推定

	イニシャル	ランニング
費用	準備段階費用	実行費用の増分
時間	準備段階時間	リードタイム
制約	技術, 人材, 設備, 知財などの制約	

「生産設備の設置」というアクティビティの例

	イニシャル	ランニング
費用	設置費用	保全費用
時間	設置時間	-
制約	生産設備設置場所	

アクティビティパラメータが様々な要因を含んでいる場合は、パラメータ値を推定しやすいレベルまで、アクティビティを分解する。

[第3段階]各対策の費用対効果の算出(1/3)

アクティビティ		対策	生産拠点の 複数化	代替部品の使用 (事前準備あり)	代替部品の使用 (事前準備なし)	生産拠点の移転	在庫の保持
準備系 アクティビティ	設計	部品設計	B	B	A	-	-
		生産設計	B	B	A	-	-
	設備	生産システムの整備	B	-	-	-	-
		設備の調達	B	-	-	-	-
		設備の配置・調整	B	-	-	A	-
		設備の移転計画立案	-	-	-	B	-
	在庫	設備の移転	-	-	-	A	-
		部品保管庫の準備	B	-	-	-	B
	作業者	作業者の確保	B	A	A	-	-
		作業者の教育	B	A	A	-	-
		作業者の移転計画立案	-	-	-	B	-
		作業者の移転	-	-	-	A	-
	試験	品質試験	B	B	A	-	-
製造系 アクティビティ	調達	材料調達	B	A	A	B	-
	製造	部品製造	B	A	A	A	-
	在庫	在庫保持	B	A	A	A	B
	出荷	出荷	B	A	A	A	-

- 対策の適用とは、事前に行えるアクティビティをあらかじめ実行しておくことである。

- 左図は、この観点から、対策ごとに、アクティビティの実行タイミングを示したものである。

(部品によっては、一部のアクティビティの実施が不要な場合もあり得る。)

B (Before) : 事前実行
アクティビティ

A (After) : 事後実行
アクティビティ

- : 実行不要
アクティビティ

[第3段階]各対策の費用対効果の算出(2/3)

- 対策費用の推定
 - 事前実行アクティビティのイニシャルコストとランニングコストの増分
 - 事後実行アクティビティについては、イニシャル、ランニングともに実行費用にリスク事象の発生確率を掛けたもの。
- 対策効果の推定
 - 対策の適用により短縮される復旧期間に、単位期間当たりの欠品損失を乗じた額

アクティビティ パラメータ 事前か事後か	費用		時間	
	イニシャル	ランニング	イニシャル	ランニング
リスク事象 発生前に実行する アクティビティ	必ずかかる	リスク事象発生ま で常にかかる	既に行っているため 有事の際に時間が かからない	事前には実行でき ないので、事後に時 間がかかる
リスク事象 発生後に実行する アクティビティ	有事の際のみ かかる	有事の際に必要 量分だけかかる	この時間の分だけ 欠品時間が長くなる	この時間の分だけ 欠品時間が長くなる

[第3段階]各対策の費用対効果の算出(2/3)

- 対策の適用費用の算出

- 事前に行うアクティビティの実行費用部分の総和によって決定

$$C_i^k = \sum_{m \in \Omega_{iPB}^k} c_{Pim} + \sum_{m \in \Omega_{iEB}^k} (c_{Eim} \cdot Q \cdot N) + \frac{1}{N} \left(\sum_{m \in \Omega_{iPA}^k} c_{Pim} + \sum_{m \in \Omega_{iEA}^k} (c_{Eim} \cdot Q \cdot M) \right)$$

C_P : 準備段階費用, C_E : 実行費用増分, k : 適用する対策, i : 部品ID, Q : 一日当たりの製造数,

N : リスク発生間隔, M : リスク発生時の生産停止期間,

Ω_{iPA}^k : 対策 k に関するアクティビティ

(添え字は, P : 準備系アクティビティ, E : 製造系アクティビティ, B : 事前実行, A : 事後実行)

- 対策の適用効果の算出

- 第1段階で推定した単位時間当たりの欠品による被害額に, 対策適用によって事後に実施しなくてよくなるアクティビティの実行時間を乗じた値.
- 第1項は, パラレルに実行できるアクティビティのために最大値をとっている.

$$E_i^k = I_i T_i^k = I_i \left(\max_{n \in \alpha} \left\{ \sum_{m \in \Omega_{iEA}^k} t_{Eim} \right\} + \sum_{n \in \beta} \sum_{m \in \Omega_{i(PA \cup EA)_n}^k} t_{PorEim} \right)$$

α : パラレルに実行できるアクティビティグループの集合,

β : シーケンシャルに実行しなければならないアクティビティグループの集合

1. 実施概要

1.1 研究概要

1.2 実施体制

1.3 個別実施事項

2. 実施成果

2.1 サプライチェーンリスクシミュレーションのイメージと問題点

2.2 部品の特性評価に基づくサプライチェーンリスクマネジメント手法 (B-SCRM: BOM Based Supply Chain Risk Management)

2.3 適用例

3. まとめと今後の課題

適用事例(HDDへの適用)(1/2)

- 適用対象製品 : HDD (Hard Disc Drive)
 - HDDのBOMにおける末端部品点数は56点。
 - これらのうち、汎用部品と判定した部品以外の44点に適用。
- 設定値の推定
 - 公開資料、組立メーカーへのヒアリングなどに基づいて、各設定値を表に示すように推定した。
- 期待影響度の推定
 - 期待損失額と適用費用を加えた値として計算した。

様々な設定値の一部

HDD一台当たりの価格	8000円
出荷数/日	10000台
資本利益率(ROA)	1.5%
平均リスク発生間隔	10000日
部品合計金額	3730円 (原価率47%)

アクティビティパラメータの設定

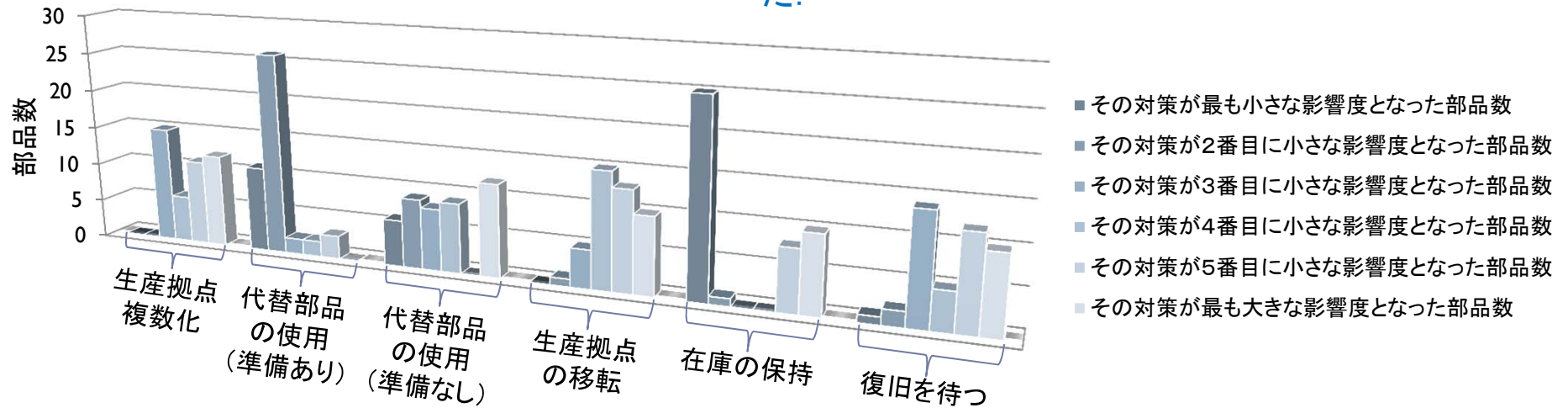
部品名称	複 設 数 生 備 化 産 投 に 抛 資 伴 点 額 う の	部 品 一 つ の 当 価 た り	製 造 単 価 複 上 数 異 化 率 時	製 品 リ ード タ イ ム	調 達 リ ード タ イ ム	リ ード タ イ ム 設 備 移 転	試 験 費 用	復 旧 に か か る 期 間
ベアリングスリーブ	2000000	5	0.2	1	2	7	100000000	7
ハブ	5000000	5	0.225	2	2	14	5000000	14
回転軸	5000000	10	0.225	2	2	14	100000000	14
軸受け	5000000	10	0.225	2	2	14	100000000	14
磁石	100000000	250	0.275	5	10	60	100000000	45
基台本体	10000000	250	0.25	5	5	30	5000000	30
ディスク(複数の場合も)	500000000	500	0.3	10	10	120	200000000	90
循環フィルタ	2000000	5	0.2	1	2	7	5000000	7
ランプ機構(ランプピン)	2000000	10	0.2	1	2	7	20000000	7
内周ストップゴム	5000000	5	0.225	2	2	14	5000000	14
ワッシャ	5000000	5	0.225	2	2	14	20000000	14
FPC本体部分	100000000	250	0.25	10	5	30	20000000	30

HDDのBOM

HDD	HSA (Head Stack Assembly)	HGA (Head Gimbal Assembly)	Head Slider	
			Body part of Head Slider	Limiter
			Suspension	Head
				Tab
			Suspension	Gimbal
				Load beam
	HSA (Head Stack Assembly)	FPC (Flexible Printed Circuits)	Body part of FPC	
			Pre-amp	
			Screw	
		Bearing Unit	Bearing	
			Sleeve	
		Coil of VCM (Voice Coil Motor)		
		Carriage Spacer		
		Nut	∴	
		Plain washer	∴	

適用事例(HDDへの適用)(2/2)

部品ごとに各対策適用時の期待影響度を比較し、期待影響度の低い対策から1~6の順位を付けた。



考察

生産拠点の複数化	この対策が最良となる部品は存在しなかった。HDDのコア部品は、寡占化が進んでいるために複数化にともなう製造単価の増大が大きいと設定した部品が多かったためである。
代替部品の使用(事前準備あり及びなし)	多くの部品は、この対策か在庫の保持が影響度最小となった。事前準備の有無に関しては、試験時間が長く、試験費用が低い部品が事前準備ありが、逆が準備なしが高評価となった。
生産拠点の移転	この対策が最良となる部品は存在しなかった。組立系工場においては、多くの移転の実例があるものの、部品加工工場は移転が容易でないためと考えられる。
在庫の保持	この対策が最良となる部品が最も多かった。これは、価格が低く、小さい部品で、生産障害が発生しても短期間で復旧すると見込まれる設備によって製造される部品である。
復旧を待つ	この対応が最良となったのは、ヘッドだけであった。ヘッドは試験費用も試験時間も大きく、代替部品の使用が見合わないためにこのような結果となった。

考察 (アクティビティパラメータの変化が対策の選択に及ぼす影響)

対策 アクティビティ パラメータ等の設定値		生産 拠点の 複数化	代替部品の使用 (事前準備あり)	代替部品の使用 (事前準備なし)	生産 拠点の 移転	在庫 の 保持	復 旧 を 待 つ
アク ティ ビ ティ	設備	設備の調達費用	▼	△	△	△	△
		設備移転時間	△	△	△	▼	△
	試験	品質試験費用	▼	▼	▼	△	△
		品質試験期間	△	△	▼	△	△
	材料調達	調達リードタイム	△	▼	▼	△	△
	製造	複数化増加費用	▼	▼	▼	△	△
		製造リードタイム	△	▼	▼	▼	△
	在庫	在庫費用	△	△	△	△	▼
在庫保持時劣化		△	△	△	△	▼	
そ の 他 要 因	評価対象製品の価格		△	▼	▼	▼	△
	一日当たりの製造数		△	—	—	△	▼
	リスク発生確率		△	▼	▼	▼	△
	被災時の復旧時間		△	△	▼	△	▼

- ✓ △: 値が増加するとその対策が選ばれる傾向にある場合
- ✓ ▼: 減少すると選ばれる傾向にある場合
- ✓ —: どちらとも言えない場合
- ✓ セルに色付けしているのは、その値の変化により該当の対策が積極的に選択される場合.
- ✓ その他は、他の対策が選択されにくくなることでその対策の選択の可能性が上がる場合.

- **まとめ**
 - サプライチェーン構造の特定は一般には困難である.
 - サプライヤに関する情報を用いずに, 部品特性に基づいて, サプライチェーンリスク対策の検討を行う手法を提案した.
 - 本手法により, 対策の費用対効果を概算することができ, 適切な対策の選択に有効である.
 - 本手法をHDDに適用し, その有効性を確認した.
- **今後の課題**
 - 種々の製品を対象とした事例研究による, 手法の有効性の検証.
 - B²-SCRMを支援するシステムの開発.
 - アクティビティ展開図作成支援
 - アクティビティパラメータDBの構築
 - 製造BOMシステム, 工程設計システム等との連携など