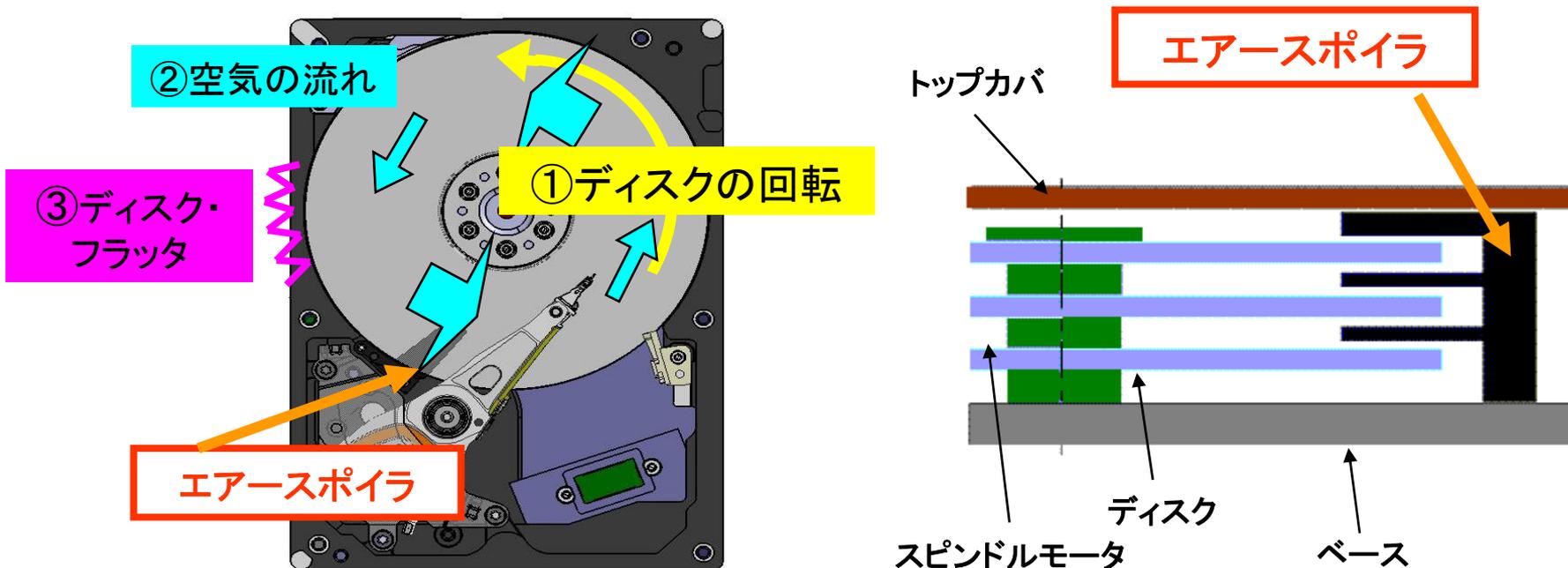


# KT法・TRIZのコラボレーションによる ハードディスクドライブ信頼性向上の実務適用例

津波古 和司

(株)日立グローバルストレージテクノロジーズ  
C&C HDD開発本部 先行プラットフォーム開発室

## 3.5型デスクトップ HDDは、NRROの低減のためにエアースポイラを採用

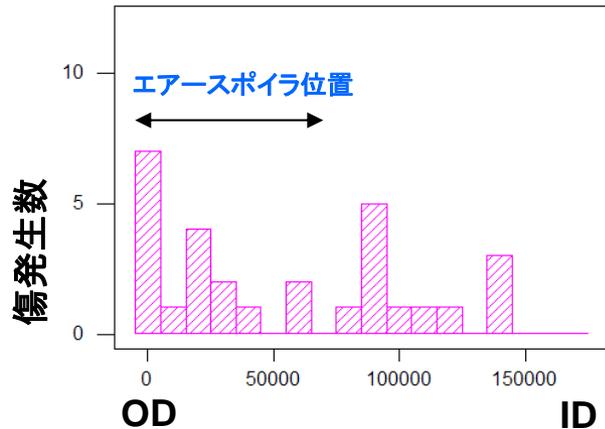


3.5“ハードディスクでは昔からエアースポイラを使用しているが、エアースポイラが大きくなるにつれて、塵埃起因の付着量が増加傾向

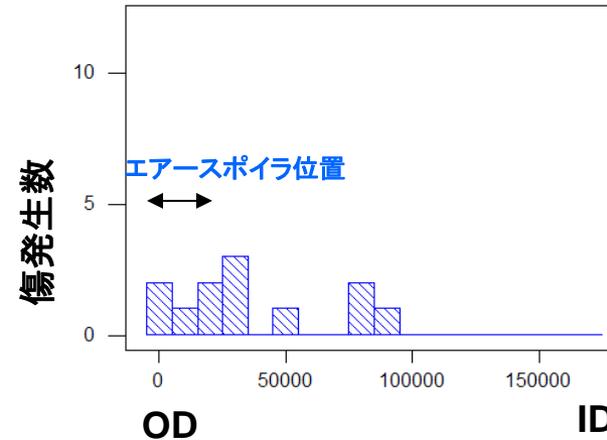
試作品Jではエアースポイラがさらに大きくなるため、エアースポイラの形状、材質と塵埃付着メカニズム究明、対策が必要

## 2. エアースポイラの役割と問題点

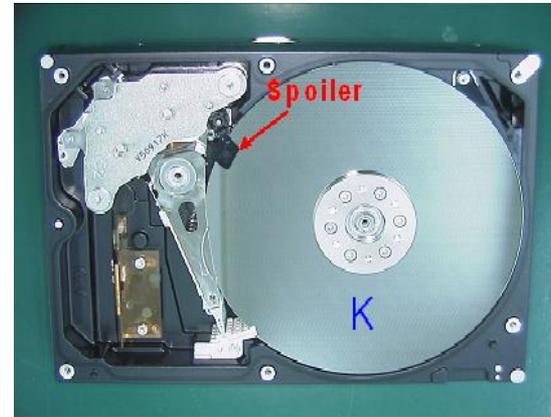
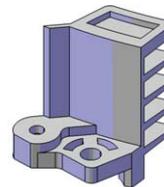
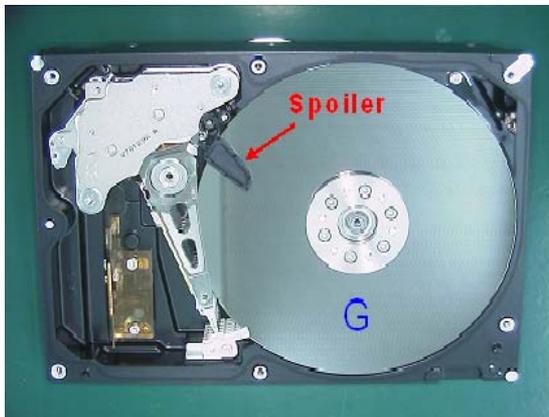
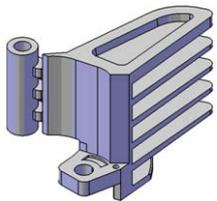
### 試作品評価における塵埃による傷発生比較（試作品G / 試作品K）



試作品 G 傷発生位置



試作品 K 傷発生位置



メディアの傷の発生は、エアースポイラ直下で多い傾向に見える。

# 3-1. ODスクラッチ問題のPA 1 / 3

問題の明確化 / 問題の明確化				
差異ステートメントの記述 対象(何に) / 差異(何が)?				区別点と変化の確認
3.5" HDDの新製品において、ODゾーンにおけるスクラッチによるデータ破壊の原因を究明する。				区別点 (IS の特徴)
問題の明確化	起きた事実		起きてもよさそうなのに起きていない事実	IS NOTと比べたISの特徴、違うこと、異なることは? 他に違うことは?
	IS		IS NOT	
WHAT(何に)				
対象は?	3.5" HDDの新製品	1	3.5" HDDの古い製品	記録密度の増加
		2	2.5" HDDの新製品	アルミディスク、エアースポイラー、高回転
差異(欠陥)は?	ODにおけるスクラッチの増加	3	IDにおけるスクラッチの増加	周速が速い
	ODでのスパイラルスクラッチ	4	IDにおけるCrush	Headがコンタミに乗り上げている
WHERE(どこで)				
地理的な場所は?	OD & MDゾーン	5	IDゾーン	周速が速い
対象のどの部分で?	エアースポイラーのある面	6		Disk上方に乱流発生源
	エアースポイラー下方	7	アクチュエーター下方	

問題の明確化	起きた事実		起きててもよさそうなのに起きていない事実	IS NOTと比べたISの特徴、違うこと、異なることは？ 他に違うことは？
	IS		IS NOT	
<b>WHEN(いつ)</b>				
最初に起きたのはいつからか？	新しい3.5" HDDほど顕著	8		記録密度の増加
どのような場合に起きたのか？	POR直後	9		Disk面にコンタミが付着
	Load / Unloadの後	10		大きなコンタミを噛み込みやすい
<b>EXTENT(どの程度)</b>				
どれくらいの数量か？	5台 / 1000台	11		
どのような傾向か？	増加傾向	12	減少	

区別点と変化による想定原因	IS/ISNOTによる「テスト」																								
高密度化にともないコンタミに対してセンシティブになってきている。ODのほうが周速も大きいので、傷もつきやすい。	<table border="0"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td>○</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	○	○	○	△	○	×	○	○	○	×	○	○
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12														
○	○	○	△	○	×	○	○	○	×	○	○														
エアースポイラーが乱流を発生させ、ディスク表面にコンタミを付着させている。	<table border="0"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12														
○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○														
Disk表面の突起物が残っている。COCが薄くなるにつれて、ODゾーンでの磁性層のマイグレーションも加速される可能性もある。	<table border="0"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td>○</td><td>△</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	○	△	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12														
○	△	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○														

高密度化やDiskの表面の問題であると、スポイラー面で発生が多いと言うことを説明がつかない。

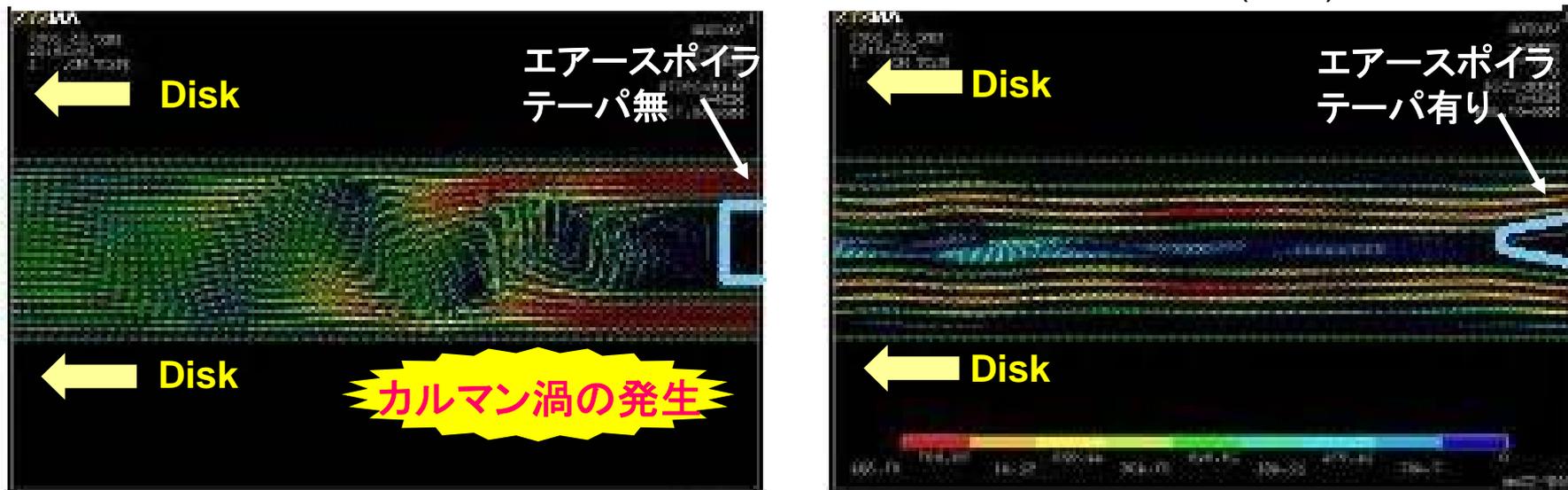
一方、スポイラー同様にDisk面にあるアクチュエータの存在とは関係無しに問題はエアースポイラーのある面に偏っていることが矛盾しているようにも思える。

## なぜ エアースポイラがディスクへの塵埃付着を加速させるのか？

### エアースポイラ形状に着眼

#### ■ 2次元の流体解析 (ANSYS)

ディスク回転速度：30m/s（ディスク中心から40mm付近） 流体：空気（室温）

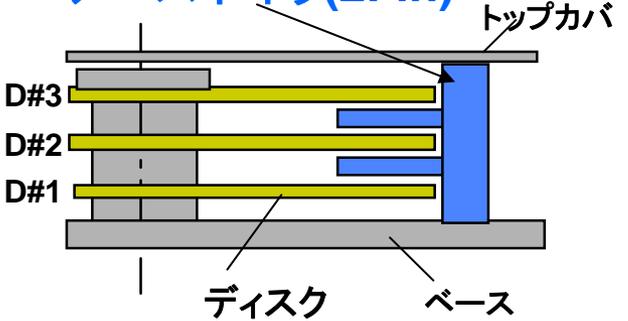
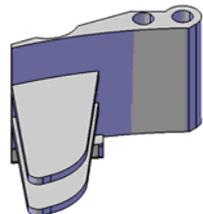
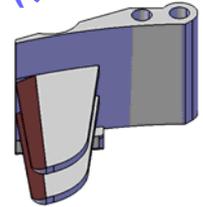
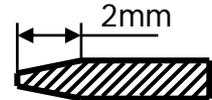


テーパ無しエアースポイラは、カルマン渦が発生し塵埃付着を促進  
テーパ 有リエアースポイラは、カルマン渦を低減し塵埃付着を抑制

→ この仮定を元に実機での検証を行なった

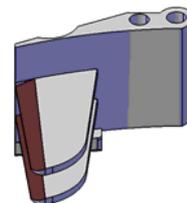
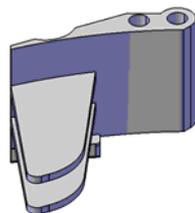
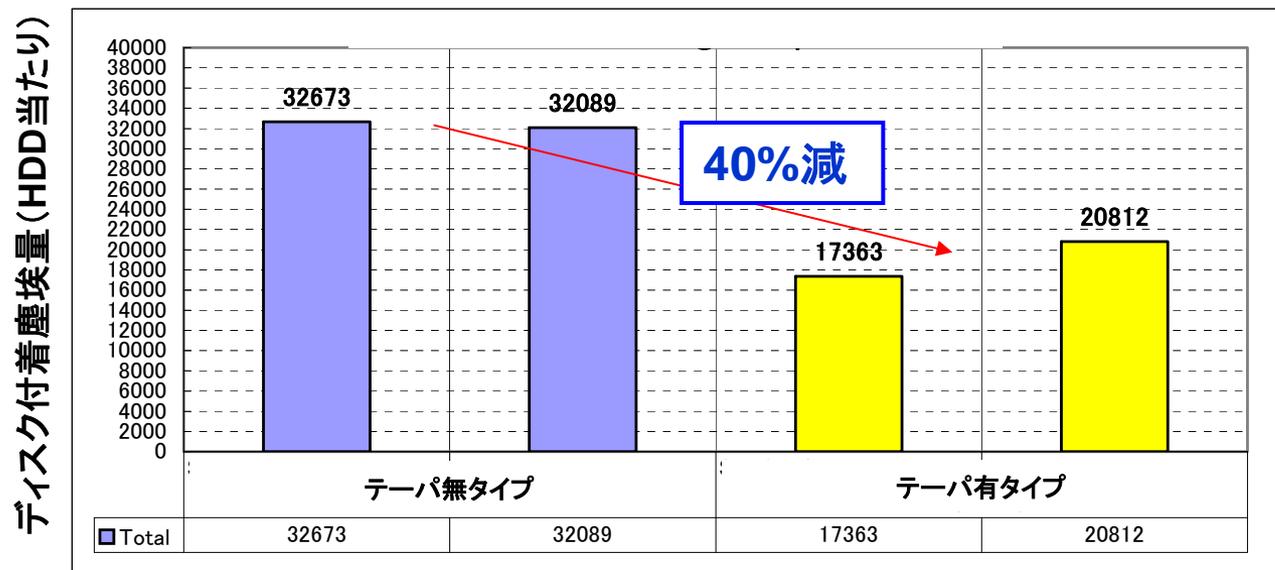
## シミュレーションを検証のため実機による塵埃投入試験を実施

### ■ 塵埃付着試験に使用したエアースポイラ

3 枚ディスクモデル		断面形状
<p>エアースポイラ(2Fin) トップカバ</p> 	<p>①2フィンタイプ</p> 	<p>テーパなし</p> 
	<p>②2フィンタイプ (テーパ 2mm)</p> 	<p>テーパあり</p> 

## 5. テーパ付きエアースポイラ評価結果

### ■ テーパ付きエアースポイラによる塵埃付着測定結果

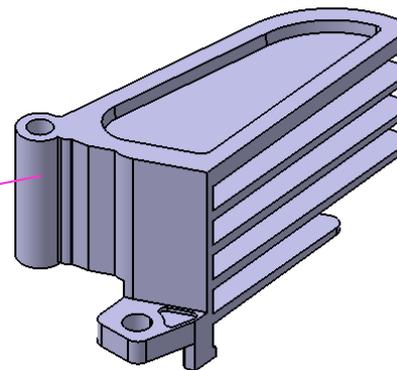
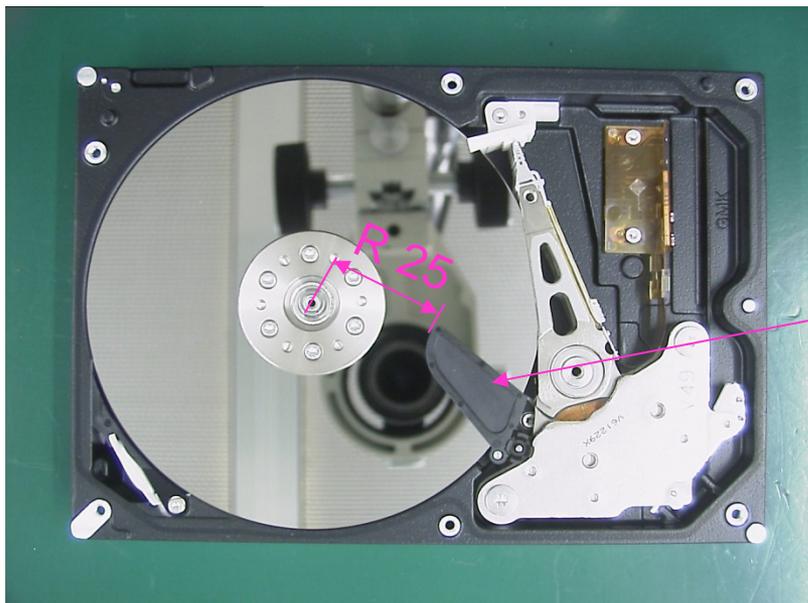


シミュレーションどうりテーパ付きエアースポイラがカルマン渦の発生を抑制し、塵埃付着を低減できることを確認した。

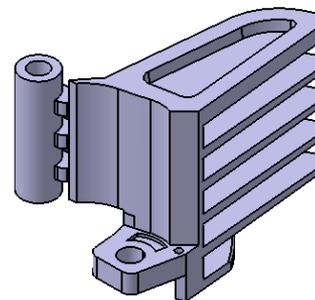
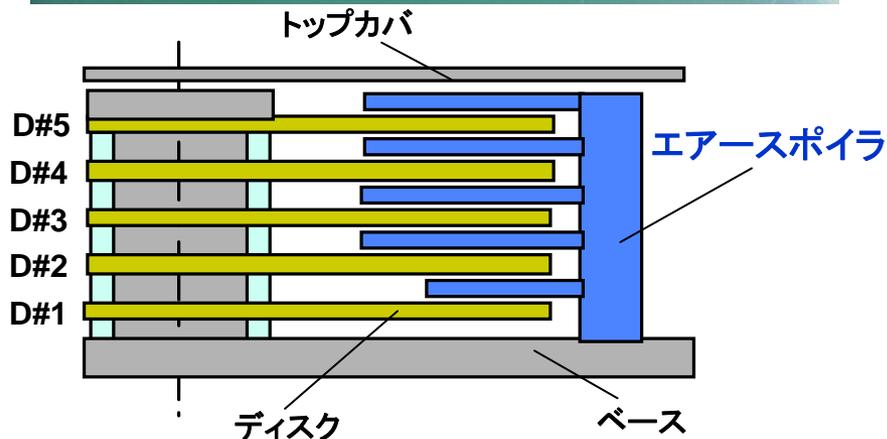
# 6. 大型エアースポイラの導入

新製品ではNRRO改善のためエアースポイラを大型化

→ 塵埃付着増加の懸念



新製品 エアースポイラ



従来型 エアースポイラ

# 7. 「心理的障壁」の打破



HDI技術者

塵埃のディスク  
への付着をもっと  
減らしてよ！

パフォーマンスを上げるため  
には、スプイラーをもっと長く  
しなくてはいけない。



機械技術者

何が本当は求められているのだろう

カルマン渦だけが付着を加速しているのではないの  
ではないか？ ゼロベース思考で  
考え直そう！

カルマン渦  
カルマン渦  
カルマン渦  
...

もう打つ手はないよ  
...

TRIZ は  
技術者の心理的障壁を  
打破するための  
ツール



## 8. HDD用語とTRIZ 矛盾 パラメータとの相関表

Key Word of HDD parameter	TRIZ 48 Parameters
Bit length on the Disk	静止物体の長さ・角度 (4)
Error Rate	時間の損失 (26)、情報の損失 (28)、信頼性/ロバスト性 (35)
Seek Time	移動物体の動作時間 (12)
Weight Saving	静止物体の重量 (2)
Sound	雑音 (29)
Thermal Stability	安定性 (21)
Track Per Inch	情報の量 (11)
Reliability	情報の損失 (28)、信頼性/ロバスト性 (35)
Write Fault Frequency	情報の損失 (28)、時間の損失 (26)
Power Consumption	エネルギーの損失 (27)
Positioning Accuracy	信頼性/ロバスト性 (35)
Rotational Waiting Time	時間の損失 (26)
Cost	生産性 (44)
Radiation	温度 (22)
Detectability of media defect	検出/測定的能力 (47)
Test Time	Loss of Time (26)、Productivity (44)

## 9. 矛盾マトリックスの適用

- エアースポイラーの大型化は、ODゾーンにおけるスクラッチによるデータ破壊を加速する。
- 発明原理からの矛盾マトリックス
  - 4 x 28 (静止物体の長さ／情報の損失)
    - 28: **メカニズムの代替** →
    - 24: 仲介
    - 3: **局所的性質** →
    - 13: 逆発想
  - 4 x 35 (静止物体の長さ／信頼性)
    - 35: パラメータの変更
    - 31: 多孔質材料
    - 29: 空気圧と水圧の利用
    - 17: もうひとつの次元

物体またはシステムと相互作用する電氣的、磁氣的、あるいは電磁氣的な「場」を利用する。

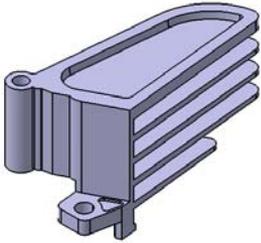
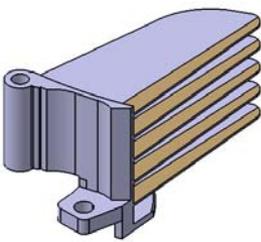
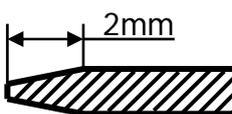
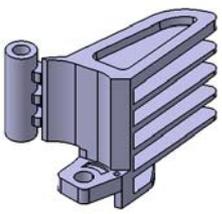
⇒ 導電性エアースポイラー

システムの各部分を局所的に最適化された状態で機能できるようにする。

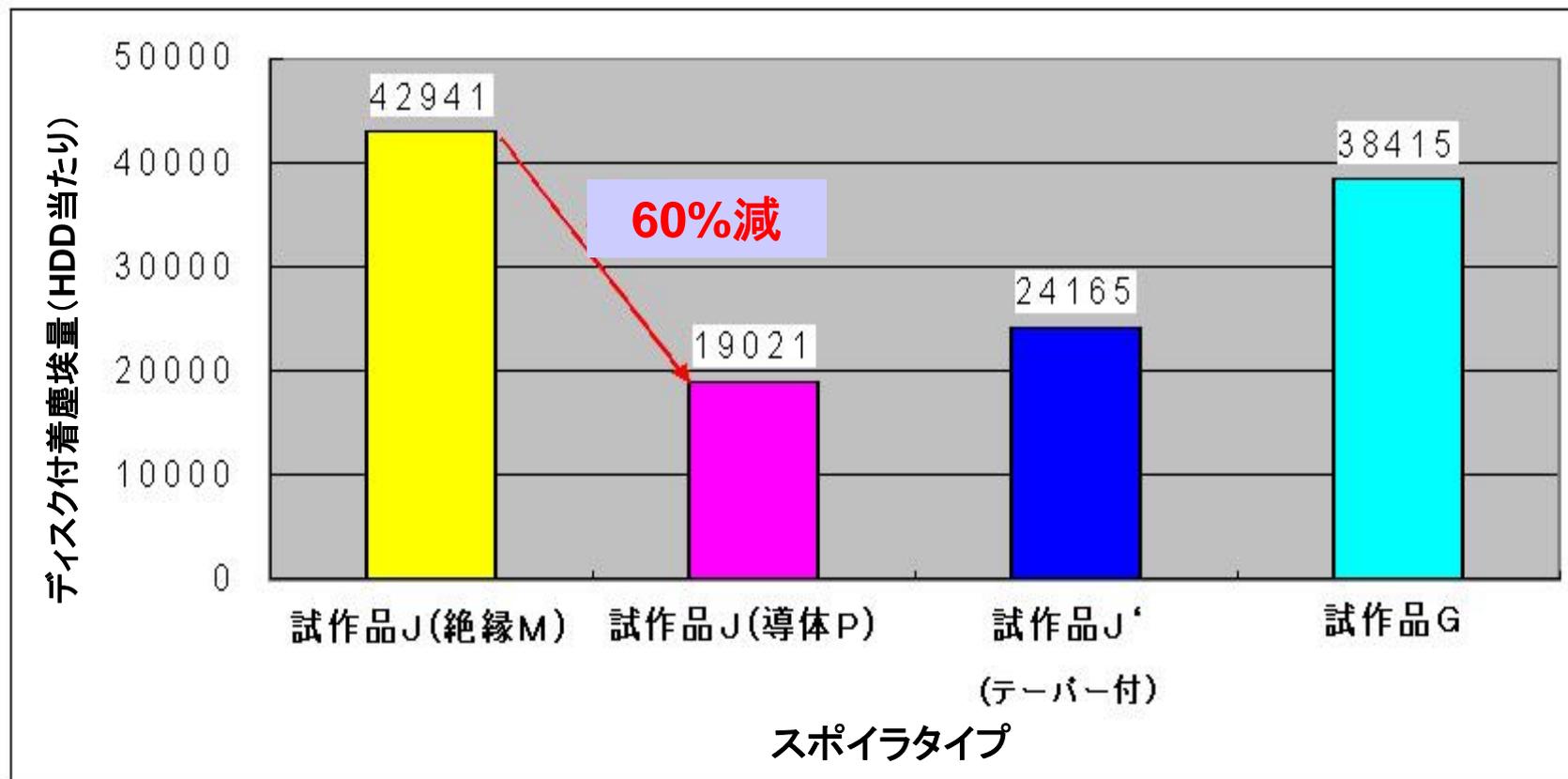
⇒ テーパ付

# 10. 導かれたアイデアのトライアル

## ■ 塵埃付着試験に使用したエアースポイラ

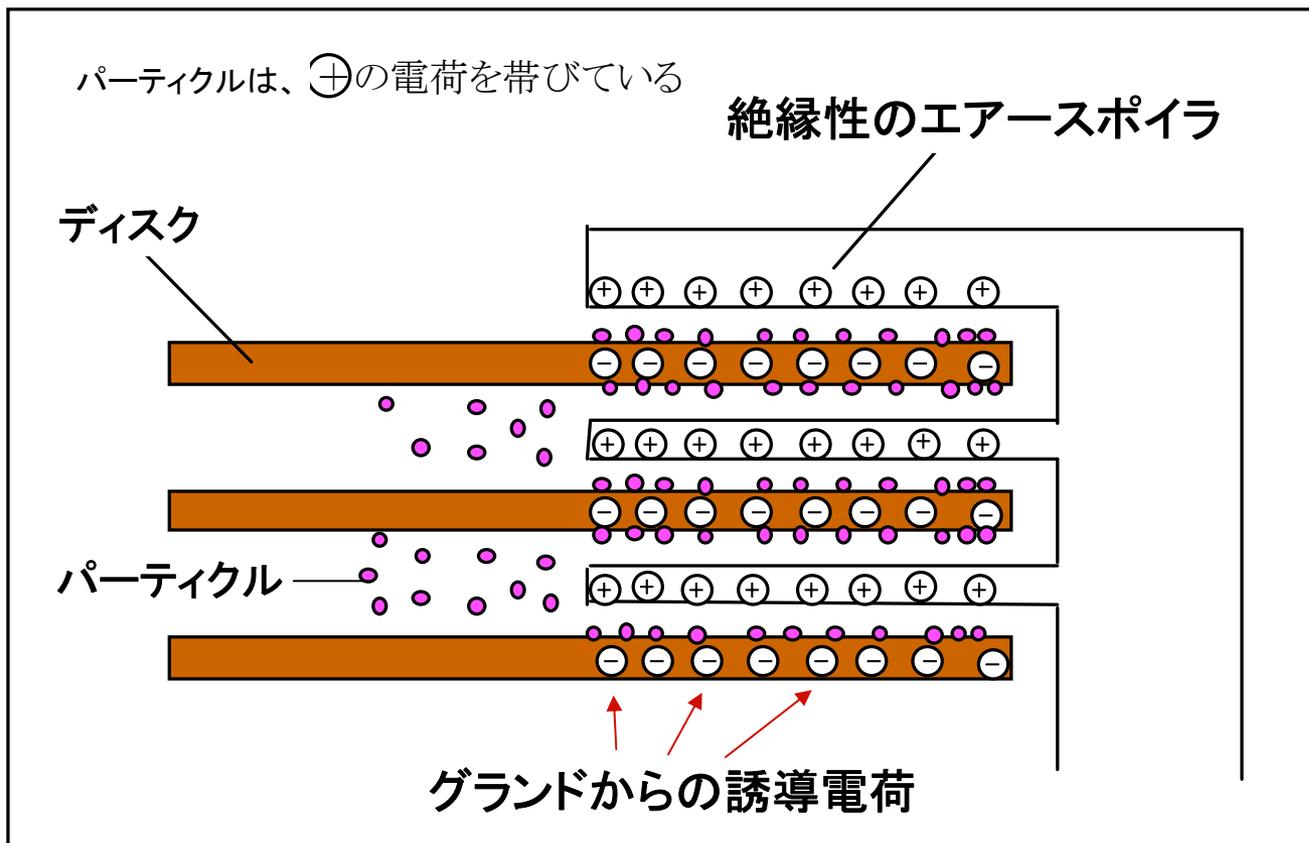
全体形状	名称	材質	表面抵抗	断面形状
	試作品J	ポリカーボネイト	1 E16 (絶縁体)	テープなし 
		炭素繊維強化プラスチック	1 E1~E3 (導電体)	
	試作品J テープ付	ポリカーボネイト	1 E16 (絶縁体)	テープあり 
	試作品G	ポリカーボネイト	1 E16 (絶縁体)	テープなし 

## ■ 新施策品エアースポイラ塵埃付着量測定結果



導電性エアースポイラで大幅な塵埃付着低減を確認

## ■ 静電気による塵埃付着メカニズムの推定



プラスの電荷を帯びた塵埃が、絶縁性のエアースポイラのプラスの電荷による斥力とディスク上のマイナスの誘導電荷による引力によってディスク上に付着したと考える。