

## レーザー光学ディスクシステムにおける開発の観点とその分析

セルゲイ・フルシチョフ  
バウマン記念モスクワ国立工科大学  
モスクワ、ロシア

ETRIA 主催国際会議『TRIZ Future 2003』  
ドイツ・アーヘン市、2003年11月12-14日

訳：野口 江 (NEC エレクトロニクス)・中川 徹 (大阪学院大学)  
『TRIZ ホームページ』掲載：2005年10月26日

### 要約

質的に新しく、また競争力を有する製品設計のためには、技術システムの発展を予測する必要がある。この予測において、特許分析は切り離せない。本論文で用いた設計予測の方法は次の段階から成る。

- 1) 対象分野をカバーする特許データベースを作成する
- 2) 現行のシステムと構成要素を決定づけた、鍵となる解決策を探す (特許データベースを活用して)。また、技術システムのユーザーから見た性能の変化のトレンドを求める
- 3) 量産時に採用されなかった技術を調査する
- 4) 全構成要素のシステム分析 (実際のシステムにおける全構成要素の有用機能と有害機能を洗い出すために)
- 5) 上記の資料に基づき、システムの各構成要素とシステム全体に関する予測ツリーを作成する

例として、レーザー光学ディスクシステムにおける開発の観点とその分析について発表する。将来の光学ディスクシステムの開発動向を提示し、現行システムのシステム分析の結果を示し、予測ツリーの作成方法を示す。

この論文は技術システムの進化の法則によく対応しており、TRIZ 教育の手引きとしても活用できる。

## 目次

1.	光学ディスクシステム開発の歴史 .....	3
1.1	光学ディスクシステムの誕生 .....	3
1.2	初期の課題 .....	3
1.3	大容量化 .....	4
1.4	小型化 .....	5
1.5	要素のトリミング .....	5
1.6	分離原理の適用 .....	6
1.7	リソースの活用 .....	8
1.8	レーザの改良 .....	8
1.9	DVD の誕生 .....	10
1.10	CD と DVD の互換性確保 .....	11
2.	ドレンド設計 .....	14
2.1	機能分析 .....	14
2.2	トリミング .....	16
2.3	X - 構成要素 .....	16
3.	終わりに .....	19

## 1. 光学ディスクシステム開発の歴史

### 1.1 光学ディスクシステムの誕生

光学記録システムが使われたのは、写真技術が初めて作られた19世紀終わりからである。さらなる開発のおかげで、アナログ記録における記録密度が向上し(例えばホログラフィ)、記録速度が向上した(物理における高速度記録など)。しかし、そのような記録方式の性能は強く制限されている。特に何よりも、化学的な現像過程によって制限される。この点が、光学記録のデジタル化を人々が検討し始める主な契機となった。

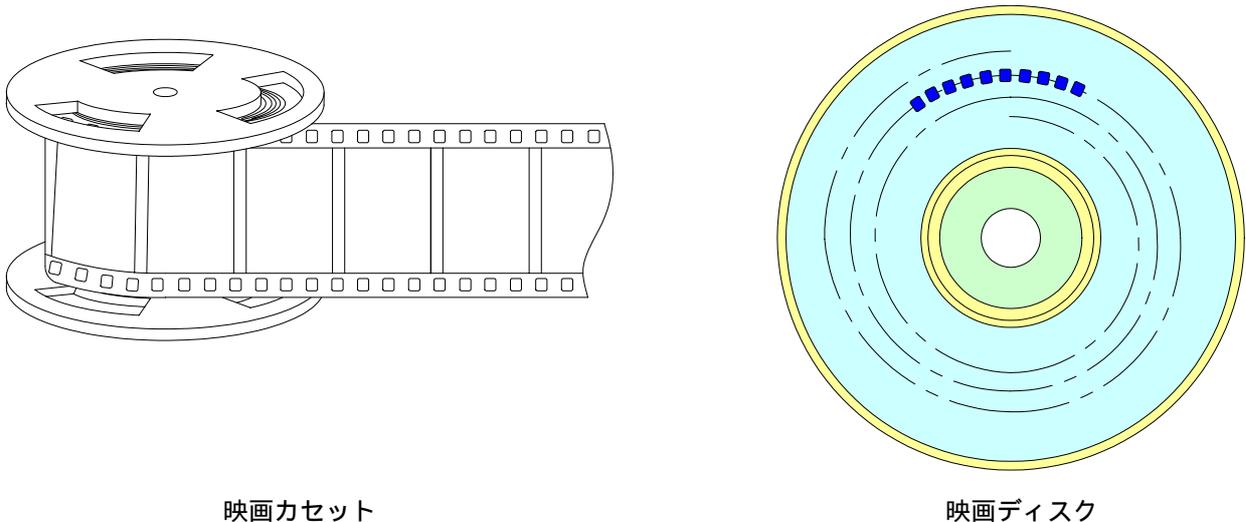


図 1

1970年までには、映画スタジオの記録倉庫のみならずビデオカメラのユーザ宅でさえも、フィルムカセットで一杯になった。さらにニトロセルロース基材のフィルムは火災の危険があり、事実多くの火災が起こった。その頃までにフィリップスの専門家がこれらの問題を解決するアイデアを提案し実験していた。フィルムではなくガラス製の薄いディスクに情報を転写し記録したのである。カセットテープの渦巻きフィルムの代わりに、微小なフレームを渦巻き状のトラックにして記録するアイデアの実現であった(図1)。ここには、[TRIZの発明原理] #17「他次元移行原理」が使われている。

### 1.2 課題抽出

システムが設計され、ディスクへ記録されたが、最初の実験で問題が発生した。画像はぼやけ、「スノー(雪)」と呼ばれるノイズに見舞われた。このシステムには多くの問題があることは明らかであった。この問題には2つの主な原因があった。第一は、ディスク形状とモーター軸へのディスクの取り付けである(図2)。原理的には、これらの問題はシステ

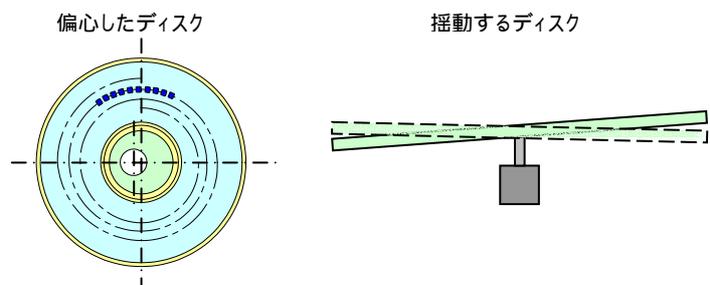


図 2

ムの調整により容易に取り除くことができる。しかし一旦ディスクが交換されると、再び問題が発生し再調整が必要になる。第2の問題は、ディスク上の個々のフレームがフィルムカセットのフレームよりもずっと小さいことである。

そこで問題は2つに分類された。

- 1) フレームトラックに継続的に追従する必要性
- 2) ディスク容量を増加させる必要性

ディスク表面に継続的に追従すること(焦点合わせ)やらせん状トラックに追従すること(トラッキング)は容易である。良い結果を得るためには、安定化フィードバック機能をもつ制御システム(#23「フィードバック原理」)を2つ使う必要がある(トラッキングシステムの発展は大変興味深い論点であり、次回の発表で取り上げる予定である)。

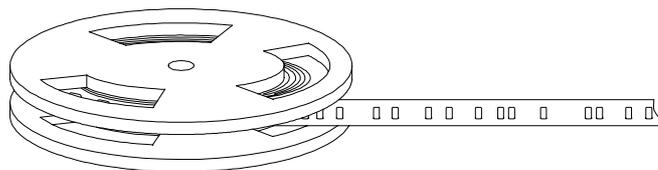
### 1.3 大容量化

しかし、ディスクの容量を向上させることはそんなに簡単な問題ではない。フレームはどんどん小さくなり、ついに光学システムの物理的限界にまで達した。その先になると、光学的システムは画像を正しく再現できなくなった。それでもディスクのフレームの数はフィルムカセット1巻にも及ばなかった。情報記録容量をいかに増やすかという課題が最優先になった。

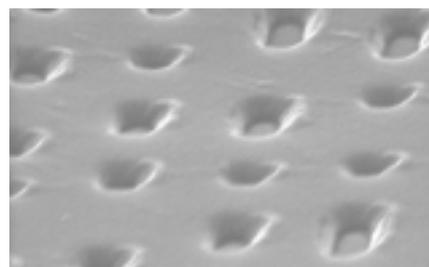
その頃にはすでに、フィリップスの技術者たちはコンピューターを広く使用していた。部屋の半分を占めるほど巨大なコンピューターであった。技術者の一人がコンピューターの入力デバイスに解決策のヒントを見つけた。

- コンピューターにどの様にして情報を入力するのか。
- 穴を開けたテープを用いて。
- そうだ、それは紙テープに穴を開けたものに過ぎない。コンピューターは穴を読み、記録された情報を復号する。穴の開いたテープと同様に、連続した穴で情報を符号化できるはずだ。

この思考過程の結果できたのが、(穴を開けたテープの類推から)金属箔を焼いて穴を開けるレーザー光学記録システムである(図3)。



穴を開けたテープのカセット



ディスク表面

図3

ここでは#1「分割原理」が使われている。画像情報は金属箔の層に多くの微小な穴として符号化され、最終的には情報の密度は数千倍にも増え、直径30cmのディスク1枚にフィルムカセット数巻分の情報が記録された。その頃、穴は0.5x2ミクロンと、肉眼では見えないほどに小さくなった(図4)。しかし、そのシステムには一つの欠点があった。コンピューターが必要だったことである。そのため情報記録システムは巨大であった。

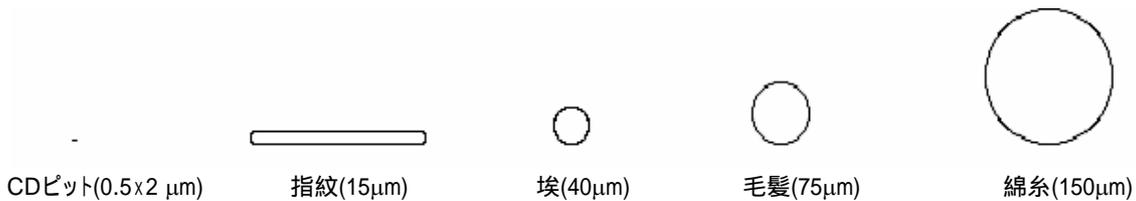


図 4

### 1.4 小型化

光学情報の再生システムを簡略化して図 5 に示す。システムの構成は、ガスレーザー(当時のレーザーは特殊ガスを入れた長い管であった)、鏡、(情報面の小さなスポットに光エネルギーを収束させる) 収束対物レンズ、(情報が符号化されている) 薄い金属箔を貼ったガラスディスク、読み取り対物レンズ、そして光検出器からなる。しかしこのシステムにはまた多くの欠点があった。

- ・とても大きいこと(レーザー、レーザー用電源、情報信号を復号するコンピュータ)
- ・重いレンズの慣性により、読み取り速度が遅いこと。
- ・ゴミ、キズ、指紋により情報面が容易に汚れること。

コンピュータのサイズは年々、急速に小さくなった。間もなく光学システム全体のサイズはかなり小さくなった。そこで、記録システムの開発における次のステップは明らかであった。さらに小さくすることである。図 5 からわかるように、大きさの課題は特にディスク両面へのアクセスに起因する。

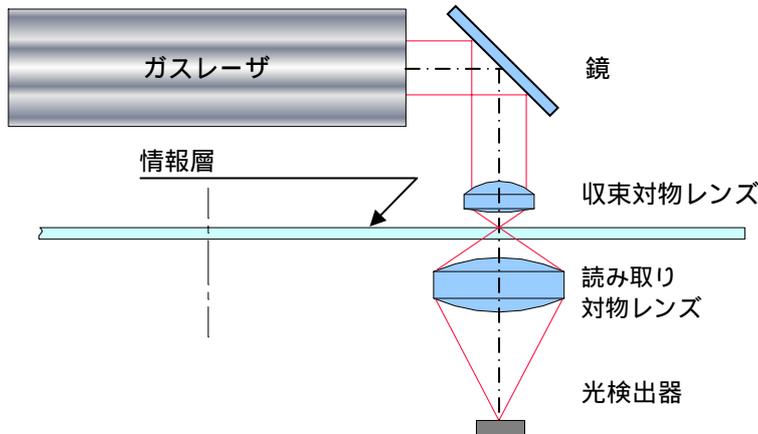


図 5

### 1.5 機能分析とトリミング

このシステムについて簡単な機能分析をしてみよう。ガスレーザーで発生した光は鏡で反射され、対物レンズで情報面に収束される。その後、情報で変調された光が読み取り用の対物レンズを通り光検出器に収束する。

この分析から何がわかるだろうか(表 1 参照)。2つの対物レンズが同

表 1 機能分析.

要素	機能
ガスレーザー	光を発生する
鏡	光学軸を 90°折り曲げる
収束対物レンズ	光エネルギーを情報面上の小さな点に収束する
ディスク	光を情報により変調する
読み取り対物レンズ	情報で変調された光を光検出器に収束する
光検出器	光信号を電気信号に変換する

じ機能（すなわち光を収束させる機能）をもっていることがわかる。そこでレンズを1つ削除し、その機能をもう一方のレンズに移行できないだろうか[「トリミング」する]。フィリップスの技術者たちも同じアイデアを思いついた。もし読み取りレンズを削除すれば、光は収束レンズで光検出器に収束させねばならないことは明らかである。光はディスクに達した後、上に向かわなければならない。つまりディスクは光を反射しなければならない。OK、ここまでは問題はない。では光検出器はどうしたらいいだろうか(図6)。

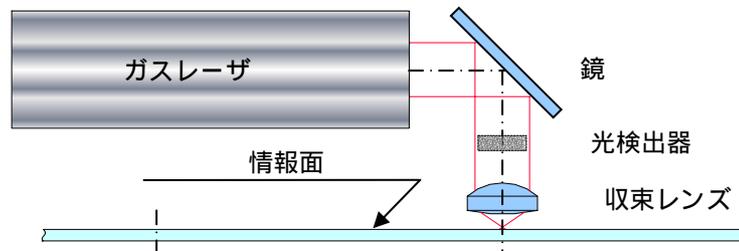


図 6

## 1.6 分離原理の適用

光検出器を収束レンズのすぐ後ろに置くことはできない。ディスクに入射するレーザービームを遮ることになるからである。一方[そこに置かなければ]、戻り光は鏡で反射してレーザーに戻る。したがって次の物理的な矛盾が生じる。すなわち鏡は光軸を90度折り曲げるためにそこに存在しなければならない一方で、光検出器に光を伝達するためにはそこに存在してはならない。そこでディスクへの入射光とディスクからの戻り光を分離できるような変更が必要になる。

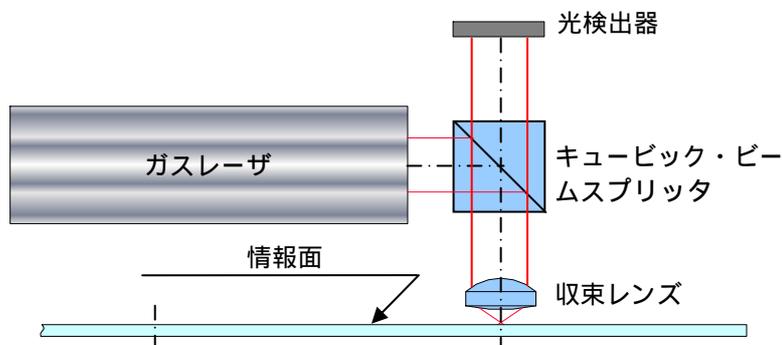


図 7

いわゆるキュービック・ビームスプリッタ(CBS)が#3「局所性質原理」を実現できる(図7)。しかしCBSには少なくとも1つの欠点がある。CBSは光を反射するだけでなく、透過もする(50%-50%)。つまりディスクに向かう時に50%を失い、戻ってくる時に50%を失う。最終的にはレーザー強度の25%だけがPD(光検出器)に到る(図8)。だが、レーザー強度は容易に増やすことができるから、それは問題でない。問題はレーザーへの戻り光にある。戻り光はレーザー光の発生を阻害する。

レーザー光の発生は安定していなければならないが、戻り光のせいで安定しなくなる。第1の解決策は、光の反射を防止することである。この解決策は、課題がすぐわかるので、わかりやすい。アイデアを実現するために、光の偏光特性が用いられた(図9a)。1/4波長板5が、光のディスクへの行きと帰り

で偏光状態 (偏光面) を変える。そこで、CBS 4 上の偏光コーティングにより、光を分離することができる。

第2の解決策はちょっとわかりにくい。レーザ発振は、戻ってきた光が入射した瞬間に止まる。しかし光が入射するマイクロ秒かナノ秒前であれば発振は影響を受けない。光が瞬時に戻ってくると考えるのは心理的惰性である (思考が硬直化している)。光には有限の速度があり、短時間経ってから戻ってくる。したがって、この問題を回避するためには、レーザが動作できる時間と動作できない時間とに分割することが必要である。このアイデアを実現するために、高周波の光変調器 2 (図 9b) を用いた。

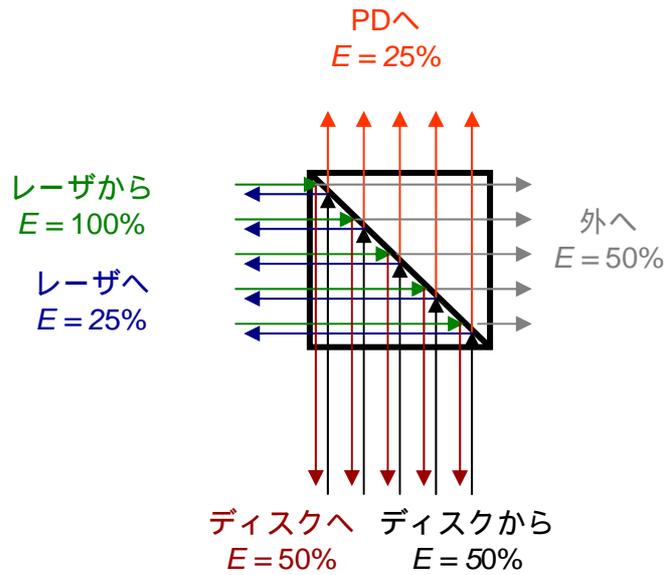


図 8

この問題に対する2つの解決策を図 9 に示した。結局、メーカーは第 1 の解決策を好んだ。第2の解決策がとても高価な光変調器を使用するからである。

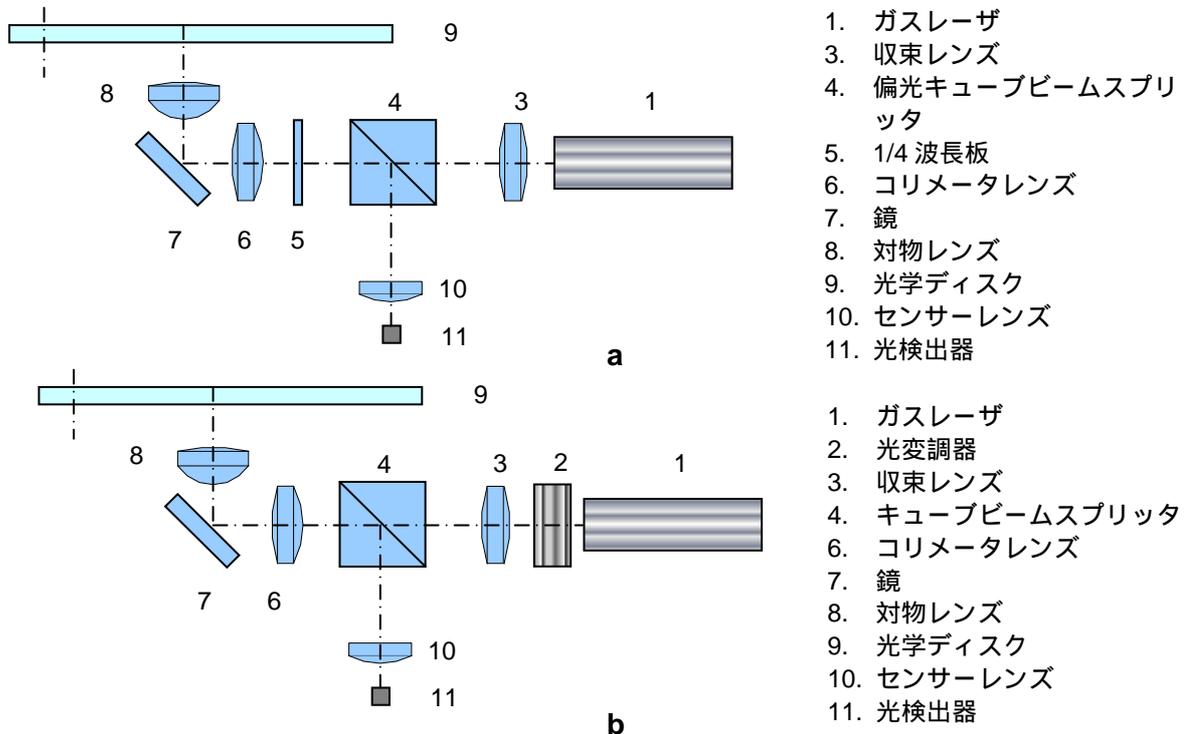


図 9

第2の解決策が専門家たちにとっても決して明白ではなかった点に注意して欲しい。しかし TRIZ の#2「分離原理」によると [訳注 1]、矛盾は空間で分離できる (第1の解決策のように) だけでなく、時

間でも分離できる(第2の解決策のように)ことをわれわれは知っている。この知識を活用し、使用可能なリソースがないかを確認することが大事である。

[訳注1: TRIZで「分離原理」と呼ばれるのが実は二つある。発明原理#2「分離(Taking out)」(または、抽出、摘出、分離(Separation))は、複数機能があってその一部が不要/有害な場合に、それを分離・摘出することをいう。もう一つは、TRIZでいう「物理的矛盾」を解決するためのやり方であり、「分離原理(Separation Principle(s))」と呼び、ここでいっているように、矛盾する要求を空間、時間、その他の条件で分離する(区別する)ことをいう。この後者の「分離原理」は非常に重要なもので、40の発明原理よりも上位にある概念である。]

## 1.7 リソースの活用

図5のシステムについて述べた課題の最後のものは、情報層表面の汚れである。汚れを防止するためには、表面を何か透明な物質で覆わなければならないことは明らかである。ディスクにどのような物理的リソースがあるかを調べてみよう。ディスクはガラス基板とその上にスパッタリングにより製膜された金属箔(情報面)からなる。ここでガラス基板に着目しよう。情報面の汚れを防止するためのリソースがすでに存在しているのだ。最終的にはディスク(コンパクトディスク規格)は図10のようにになっている。

印刷ラベル  
保護塗料  
アルミ層  
ポリカーボネイト  
収束レンズ

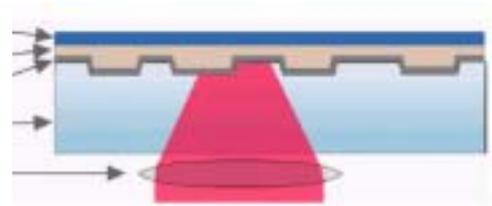


図10

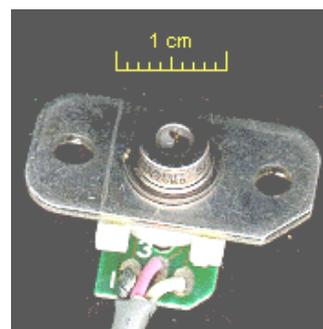
## 1.8 レーザの改良

図9に示すシステムの大きな欠点はレーザーの大きさである。次の段階に進むにはレーザー設計でのブレイクスルーが必要であった。

1970年代半ばには新しいレーザーが考案された。小型の半導体レーザーである(図11)。これ以降、サイズの問題はついに解決された。システムは小型になり、コンピューターに搭載できるほどになった(図12)。



ガスレーザー



半導体レーザー

図11

この単純なシステムにおいても、いくつかの欠点があった。第1に重要なのはレーザーダイオード(LD)の光の発散である。ガスレーザーによる光のビームは平行であるが、LDでは強く広がった光となる(図13参照)。しかしこれは深刻な問題ではない。

レーザダイオードの2つ目の問題は、ビームのスポットが楕円形をしていることである。この問題は、再生システムではあまり重要でないが、記録システムでは非常に重要である(図14)。通常、情報記録システムは図15に示すようになっていて、図からわかるように、スポットを作るために、レーザの後に1つ余分な部品が必要である。記録システムではレーザ出力を上げなければならないことが明らかである。しかし前に見たようにCBSでは大きな損失を生じる。そのためメーカーは、図9に示した2つの解決策を組み合わせている。ただし光変調器2(図9b)の代わりにレーザ電流の電気的な変調器が使われた。

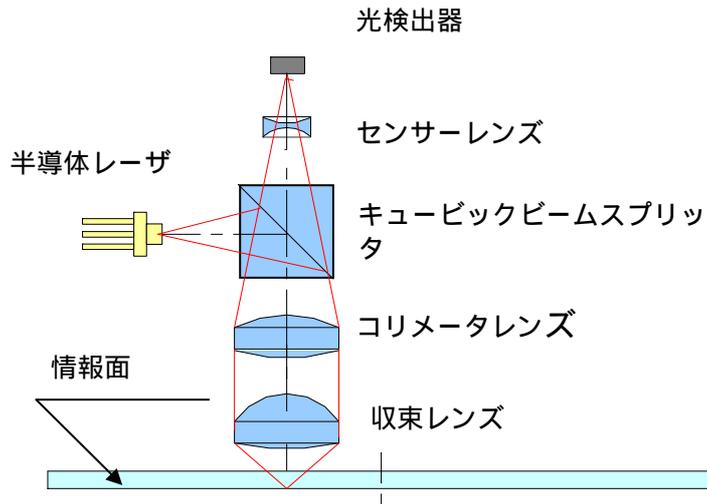


図12

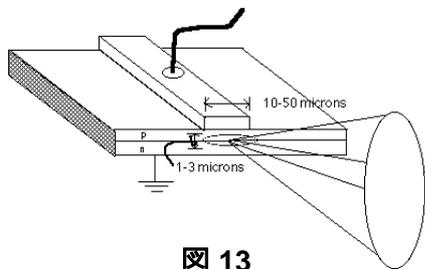


図13

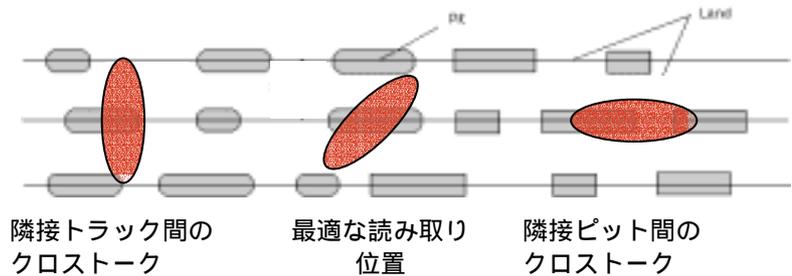


図14

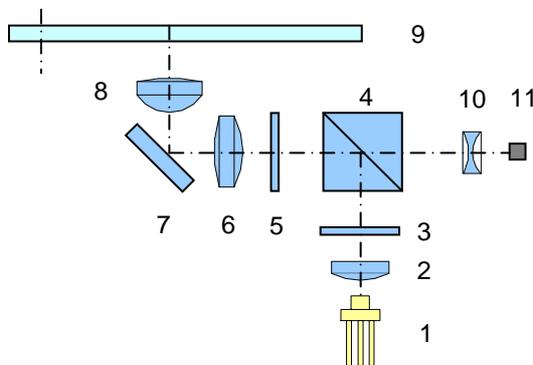


図15

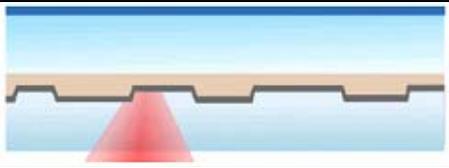
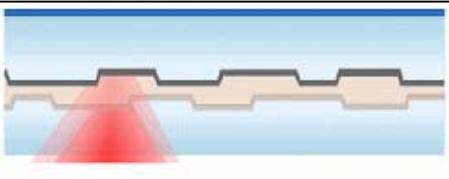
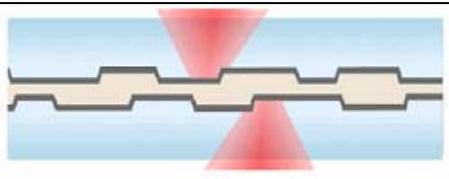
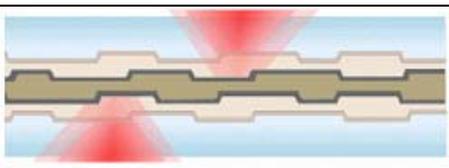
1. レーザダイオード
2. アナモフィックレンズ
3. 回折格子
4. キュービックビームスプリッタ
5. 1/4 波長板
6. コリメータレンズ
7. 鏡
8. 対物レンズ
9. 光学ディスク
10. 非点収差レンズ
11. 光検出器

## 1.9 DVD の誕生

システム設計がここまで進んだ後、光学ディスクシステムの発明は実質的に止まった。コンパクトディスクシステムの米国特許は 17 年間有効であったが、1999 年に期限が切れた。この特許の全権利を所有していたソニーとフィリップスは、ディスク容量をさらに増加させることを決めた。1996 年には新しい規格として HD-CD(高密度コンパクトディスク)を提案した。後にこれは DVD(デジタルビデオディスク)と改名され、現在ではデジタル汎用ディスク (DVD) として知られている。

このディスクは映画を記録するのに、8 種類の音声と 30 言語の字幕を扱えるように作られた。ディスクは 2 枚を貼り合わせてあり、各面の内側には 1 層か 2 層の情報面が設けてある。4 種類の DVD ディスクが提案された(表 2 参照)。

表 2. DVD ディスクの種類

<p><b>DVD-5</b> ディスクは 0.6mm 厚の 2 枚の基板からなり、金属蒸着面にデータ記録したディスクとブランクディスクを張り合わせたものである。CD と同様にラベルを印刷できる。</p>		4.7GB
<p><b>DVD-9</b> ディスクは半反射性の基板(レイヤ 0)と完全に金属蒸着した基板(レイヤ 1)を光学的に透明な層を挟んで張り合わせたものである。CD と同様にラベルを印刷できる。</p>		8.5GB
<p><b>DVD-10</b> ディスクは 2 枚の金属蒸着した基板を張り合わせたもの。両面から読み取りが可能。ラベルは両面のディスク中心部の小さな環状領域にのみ制限される。</p>		9.4 GB
<p><b>DVD-18</b> ディスクは、入手可能性は限定的で、2 層基板を 2 つ張り合わせたもので、両面から読み取りが可能である。ラベルは DVD-10 と同様に制限される。</p>		17.0 GB

情報の記録密度を増やすためには、ビットと呼ばれる情報記録マークを小さくすればよい。スポット径  $2\rho$  の物理的限界は次の近似式で与えられる。

$$2\rho = \frac{1,22 \cdot \lambda}{n \cdot \sin(\alpha)} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  はレーザー波長、 $n$  は媒体の屈折率、 $\alpha$  は周辺光と光軸との成す角、( $NA = n \cdot \sin(\alpha)$ ) は光学システムの基本特性であり開口数と呼ばれる)。

式(1)から、スポット径を小さくするためには  $\lambda$  を減らすか、 $NA$  を増やせばいいことがわかる。設計者たちは将来を見据えた解決策を望んだ。当時、高い開口数  $NA=0.6$  (CD 用の 0.45 に替えて) を有するレンズを作ることや、短波長  $\lambda = 655 \text{ nm}$  (788 nm ではなく) のレーザーを作ることには技術的には可能であった。しかし両方法も随分高価であった。設計者たちは、システムが大量生産されるようになればレーザーやレンズの価格はずっと安くなると考えた。

## 1.10 CDとDVDの互換性確保

原理上は、DVD システムを作ることはそれほど困難ではなかった。過去 17 年にわたって蓄積した多くの経験があったからである。しかし、いつの場合もそうだが、それは一面だけのことである。市場法則に従うと、後続のシステムは先行するシステムの機能を包含する必要があった。すなわち、DVD プレーヤはユーザが持ち貯めているどんな種類の CD ディスクでも再生できなければならない。

DVD ディスクを CD 用のシステムでは再生できない理由を、まず説明しておく必要がある。公式 (1) から明らかなように、決まったレーザと決まった対物レンズをもつ一つの光学システムでは、異なるサイズのレーザスポットを生成することはできない。このために DVD ディスクを CD システムで再生できないのである。スポットサイズが大きすぎて情報を読み取れない(図 16)。一方、DVD システムではスポットサイズが小さすぎるため、CD ディスクを読むことができない。

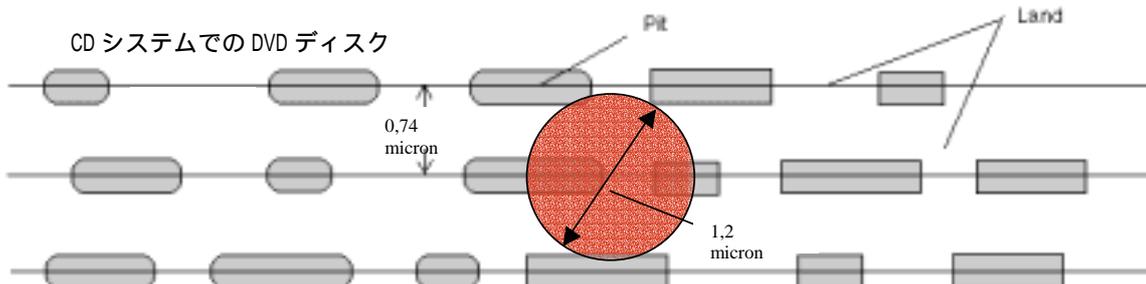


図 16

2 つ目の理由は、DVD レーザの波長の光が記録式 CD (CD-R と CD-RW) の記録層に吸収されてしまうために、DVD レーザを記録式 CD を読むのに使えないのである。

この問題により、この分野の発明が激増した。

分かってきたように、CD と DVD ディスクの両方に対して、完全互換性のある方法は 1 つしかない。2 つのレーザと 2 つの対物レンズを使うことである。言い換えると、DVD システムに完全な CD システムを包含することが必要である。何人かの設計者がその方法を採用した。図 17 には、2 つのレーザ(8, 13)と 2 つの対物レンズ(6, 9)をもつピックアップを示している。図 18 には 2 重ピックアップ(4, 5)の設計を示す。しかしこれらは大変高価な解決策である。そこで他のアイデアを探す必要がある。

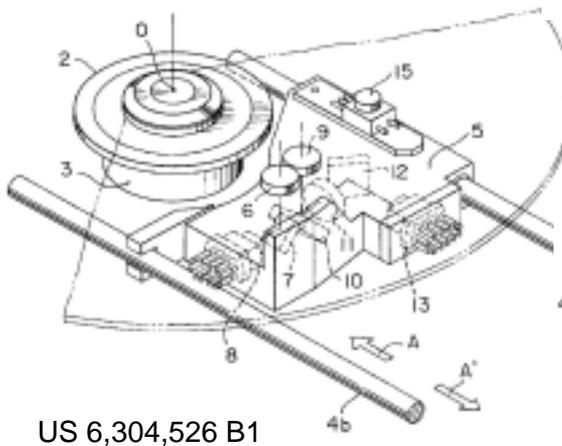


図 17

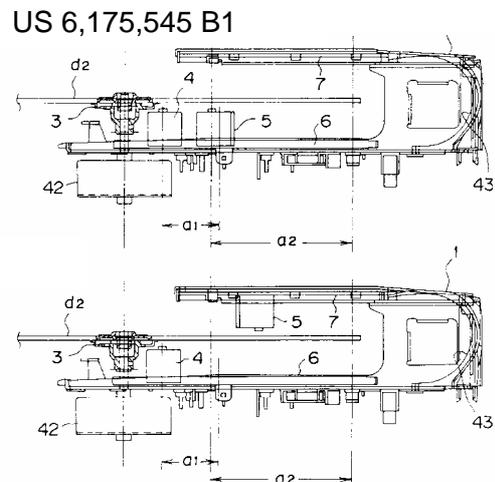


図 18

このシステムでは明かに、レーザを1つだけにすることはできない。そこでこの点は考えない。第2に、2個の対物レンズを使ったピックアップは作成可能である。これを次の段階のための基本形にしよう。次の段階はトリミングである。この基本形から機能が重複している要素を削除する必要がある。ここには2個の対物レンズ(6, 9)と2個の鏡(7, 10)、そして2個の電磁式追跡システム(図示せず)がある。もし対物レンズの1つを削除できれば、鏡と制御システムも容易に削除できる。では、どうやったらレンズを削除できるのだろうか。

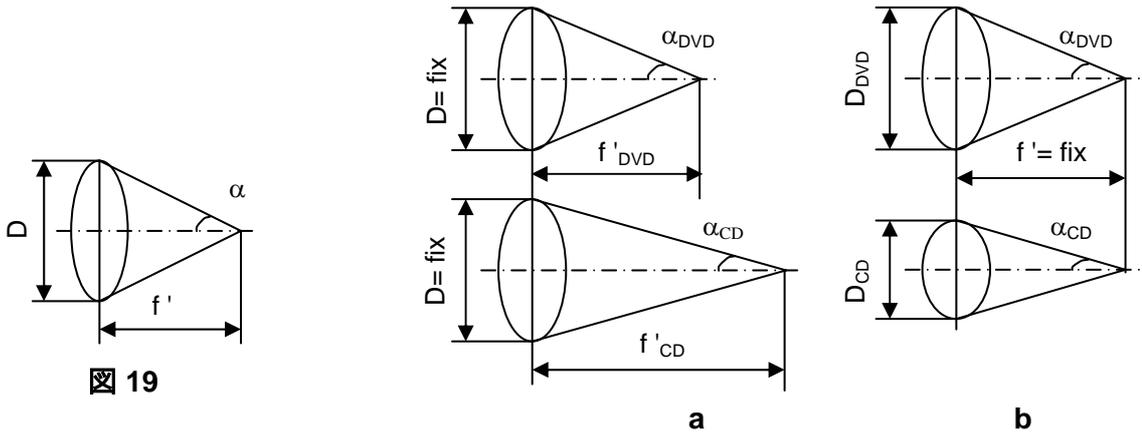


図 19

図 20

開口数の意味を詳細に議論してみよう。図 19 からわかるように、 $f'$  [レンズの焦点距離] と  $D$  [レンズの有効径] が固定値の場合、 $NA = n \cdot \sin(\alpha)$  は変えられない。そこで開口数を変えるには  $f'$  か  $D$ 、または両方を変えなければならない。したがって CD/DVD 兼用のピックアップは1種類のレンズだけでは対応できないと思われる。だが図 20 を見てみよう。2個のレンズを使うピックアップにおいて、1個のパラメータを固定した2つの例を示している。光学システム設計の観点からは、図 20a に示す第1の案の実現は不可能だとわかっている。図 20b のアイデアを実現するには絞りが必要になる。どちらのレーザを使うかによって直径  $D$  が変わり、開口数  $NA$  も変わる。この方法には次の多くの変形がある。

1. 機械絞り(図 21);
2. 液晶 (LCD) 絞り (図 22);
3. 光学フィルタ (図 23)。DVD 波長は透過し、CD 波長は散乱する。(LCD と同様の考え方)。
4. 他の変った方法(図 24)。鏡の湾曲率を変えてビーム径を縮小する。

TRIZ の基本からわかるように、新しい要素を導入する方法は安くない。この状況がまさにそれである。システムは大変高価になった。

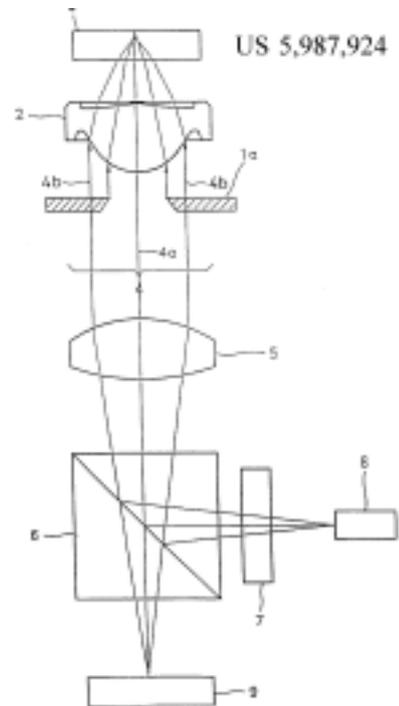


図 21

図 23 からわかるように、光学フィルタは 2 つの部分からなる。内側が CD と DVD 光兼用、外側は DVD 光専用である。しかしこの解決策はシステムに新しい部品を挿入することを意味する。実験結果によると、この部品はとても微妙な調整が必要である。そのため品質を損なうことになる。

では、どんなリソースがあるだろうか。機能移転に使える可能性のある要素は 3 つある。CBS [キュービックビームスプリッタ]、CL [コリメータレンズ]、OL [対物レンズ] である(例えば図 22 と 23 を参照)。しかし光路長が長いから CBS と CL は [機能移転に] 使えない。結局 1 つだけしかリソースが残らない。対物レンズである。そこで、光学フィルタをトリミングするためには、対物レンズが光学フィルタの機能を提供する必要がある。

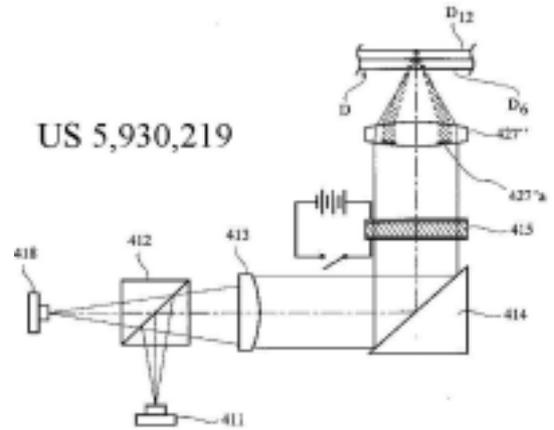
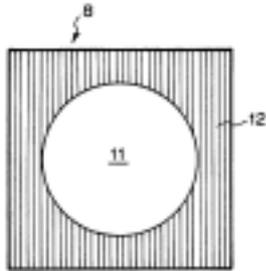


図 22



US 6,094,308

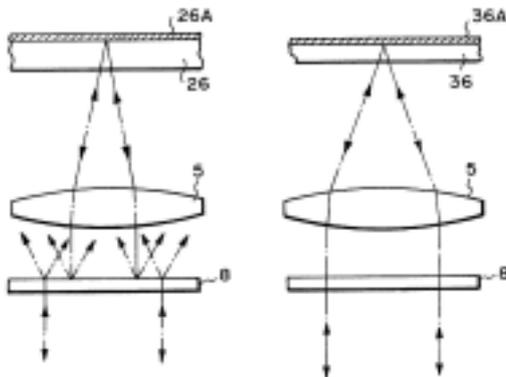


図 23

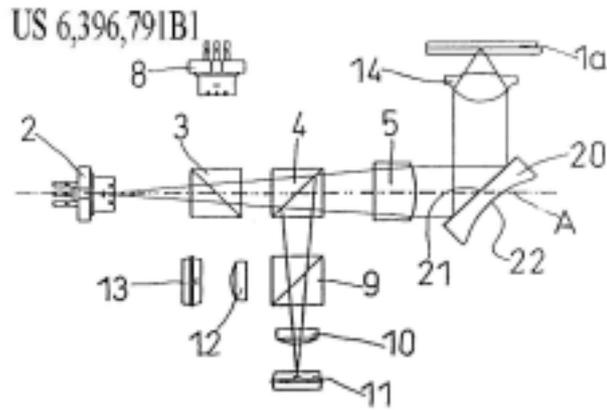


図 24

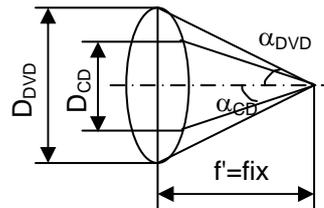


図 25

このような長い思考過程に注意を払ってほしい。もしこれらの段階の 1 つでも見落とすと、解決策を最短時間で見出すことが事実上不可能だからである。しかし TRIZ によると、この解決策はとても明白である。#1「分割原理」と#3「局所性質原理」である。この 2 つの原理がここでは使われている。

これ以降再び、光学フィルタ機能を有する対物レンズの発明が激増した。例えば図 27 は光学フィルタ機能のある 2 種類のレンズを示している (US 5,703,862 と US 5,870,369)。図 28 はその種のレンズがどのように機能するかを示している (US 6,313,956)。図 29 には大変興味深いレンズが示してある (US 6,118,594)。ここで両原理が使用されていることは明白である。

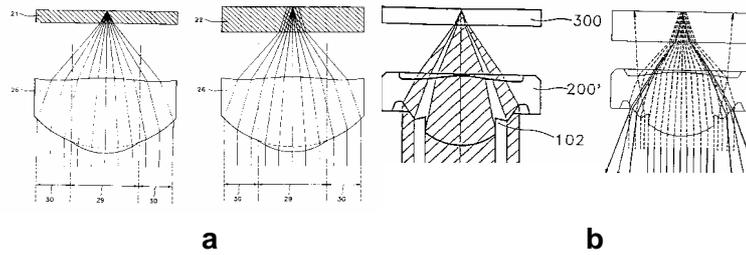


図 27

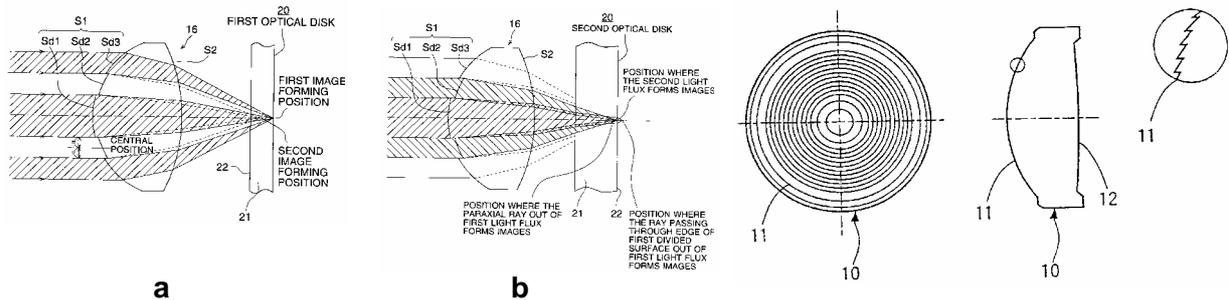


図 28

図 29

ここまでで紹介したのはすべて、技術開発の歴史のレビューである。このレビューの後で考えると、もし設計者たちが TRIZ の方法論を使っていれば、設計に要した時間は大幅に短縮したと言えるであろう。

## 2. ドレンド設計

さていまから、筆者が行ったトレンド設計について述べたい。[訳注 3]

[訳注 3: 「トレンド設計」(Trend Designing) という語は、新しい用語であると思う。TRIZ での進化の予測を武器とし、それに従いながら、一步一步確実に設計を理想に近づけていくやり方である。以下が本論文のハイライトであり、ここに説明している思考方法を著者は「トレンド設計」という言葉で提案しているのである。]

### 2.1 機能分析

トレンドの基本形として古典的な光学システムを取り上げる(図 30)。トレンド設計の最初に行うのは機能分析である(表 3)。

始めに実現しなければならないことは、システムを安価にし、しかも同等以上の品質を実現することである。表 3 から、明らかに同じ機能を有する 2 つの要素があることがわかる。CBS (3) と DVD HM (8) である。システムを安価にするためには、CBS を HM で置き換え、かつ有害機能を取り除く必要がある。このために、#22「災い転じて福となす」原理や#9「先取り反作用原理」が使える。レーザの非点収差を HM の非点収差で消去できる(図 31)。

表 3. 機能分析

位置	構成要素	有用機能	有害機能
1, 7	レーザダイオード	レーザー光の発生	2つの直交方向で放射角が異なり、隣接トラック雑音やピット間クロストーク雑音を発生させる
2	回折格子構造	光ビームをトラッキング用に3分割する	主ビーム強度の減少
3	キュービックビームスプリッタ	光軸の折り曲げ	光強度の減少
4	コリメータレンズ	レーザー光を平行にして対物レンズに向かわせ、また光検出器の方向に収束させる	受動素子であって、波面の乱れを(ディスク方向と光検出器方向の)両方向に伝える
5	対物レンズ	対物レンズは、光エネルギーを収束させ、2種類の異なるディスクの情報面に焦点を合わせる	対物レンズは3つの領域から成る。情報読み取り時に、少なくとも1つの領域が雑音を発生させる。
6	光学ディスク	基板が情報面を指紋やキズから保護する	基板には多くの欠陥(黒点、気泡、ビット欠落など)があり、情報を欠損する
8	DVD 半透明鏡	光軸の折り曲げ; 非点収差の導入	光強度の減少; 平面の半透明鏡は収差を生じさせる
9	センサ・レンズ	コマ収差の補正; スポットサイズの補正	受動素子。雑音を光検出器に伝える
10	光検出器	光信号を電気信号へ変換する; 信号を増幅する	受動素子; 雑音もまた増幅する

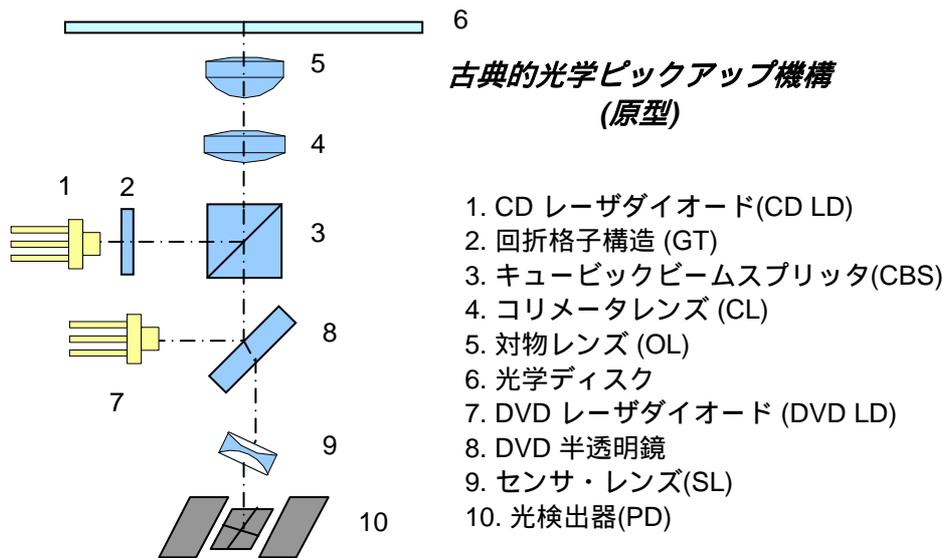
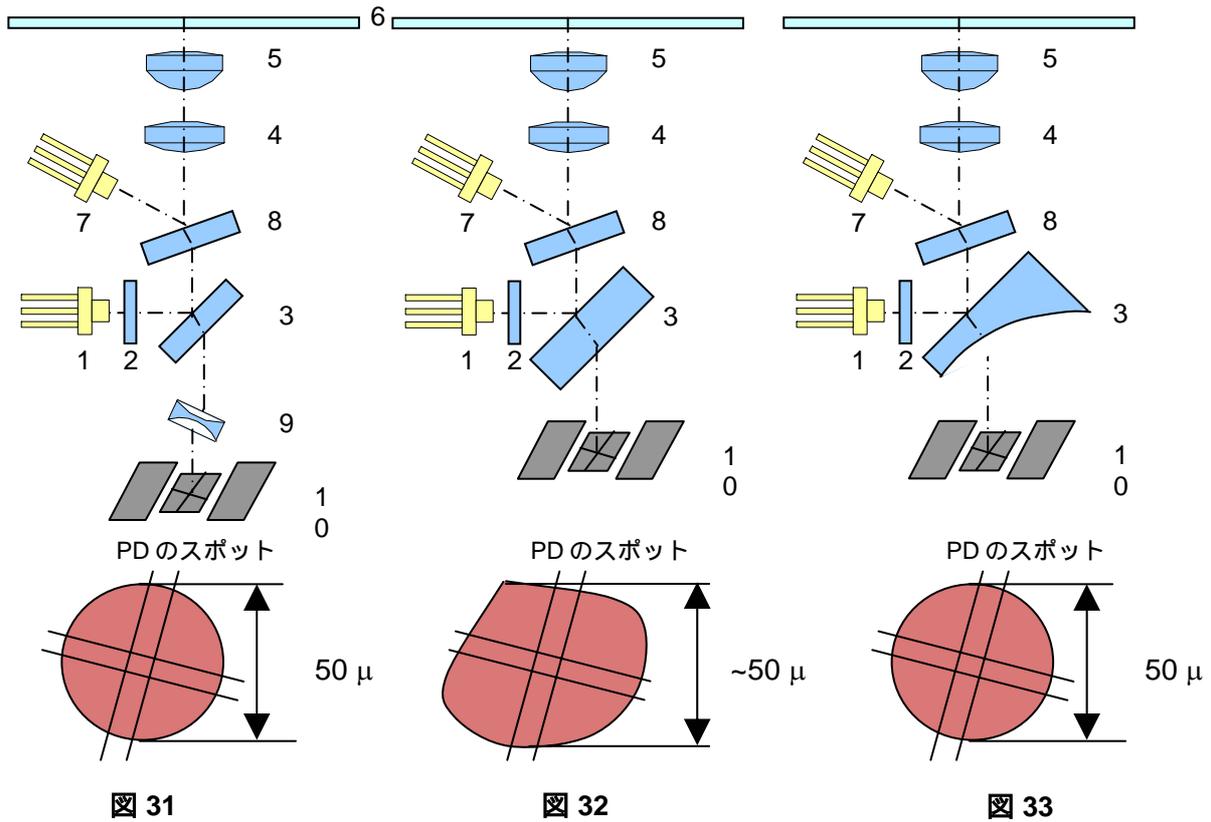


図 30



## 2.2 トリミング

次にすべき段階はセンサ・レンズのトリミングである。センサ・レンズがないと光検出器におけるスポットが小さくなりすぎる。しかしここで、#22「災い転じて福となす」原理と#13「逆発想原理」が使える。光学システムでコマ収差を除去しようとしているのはなぜだろうか(表 3 参照)。[われわれは逆に] コマ収差を増加させて、スポットサイズを補正しよう(図 32)。そこで、スポットサイズ補正機能を HM に移転し(HM の厚さを増す)コマ収差を増加させる。

もし光検出器でのスポット形状を完全な円形にする必要があるならば、有用なリソースを探した結果、図 33 に示すアイデアを提案できる。センサ・レンズの機能が注意深く移転されている。

この新しい設計では、同じ機能を有する 2 つの半透明鏡がある。一方を削減するにはどうしたらいいだろう。

## 2.3 X-構成要素

2 つの半透明鏡を X-構成要素に変えてみよう(図 34)[訳注 4]。X-構成要素は 2 つのレーザから出た光を反射しなければならない。どの様にしたらいいだろうか。図 35a に示すように、2 つのレーザの距離を近づけたらどうだろう。距離を近づけるとついに半透明鏡が互いに接触する。それらが接触したとき、一つのアイデアが浮かぶ。その要素を図 35b に示すようにするのである。システム構成は最終的に図 36 のようになる。

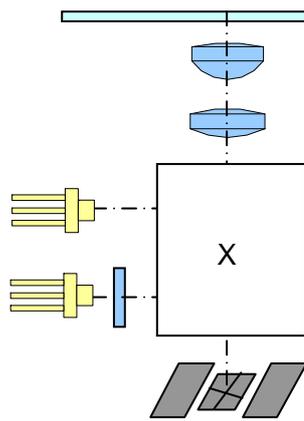


図 34

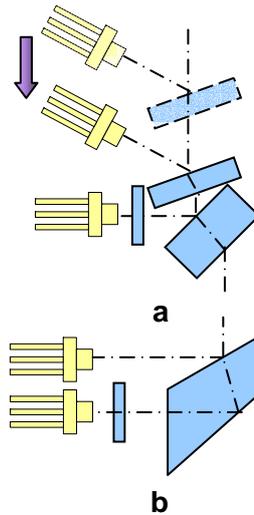


図 35

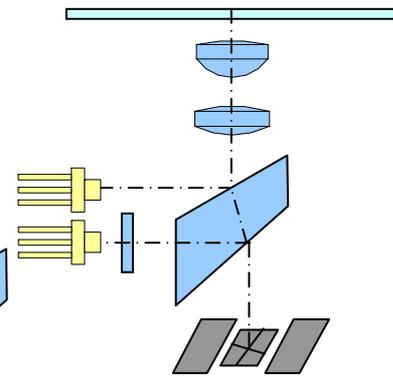


図 36

[訳注 4: 「X-構成要素」というのは、アルトシュラーが作った ARIZ の中で使われる概念である。それは、変数  $x$  を導入して方程式を立てることにより、算数のやり方から、代数のやり方 (すなわち本格的な数学) に発展したのと同じことを、問題解決に使うというのである。問題解決において、まだ答えは分かっているが、とにかくやりたいことを実現してくれる手段をここで「X」と置くのである。それは、アルトシュラーの「賢い小人たちのモデリング (SLP)」に通じるものである。]

では 2 つのレーザの間隔をさらに近づけたらどうなるだろうか。この仮想状況においてはプリズムは必要なくなる。間隔がとても小さいからである。

この「仮想状況」が 3 年前に現実になった。最初のツインレーザが作られたときである(図 37)。

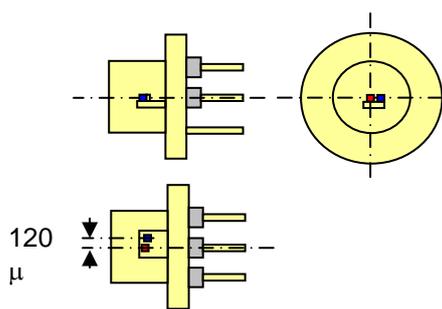


図 37

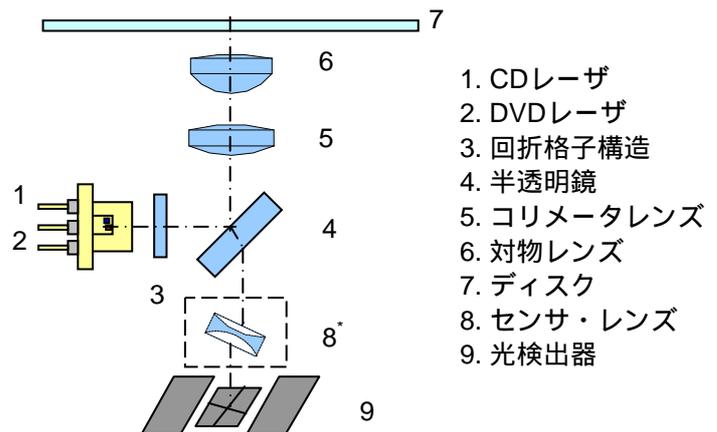
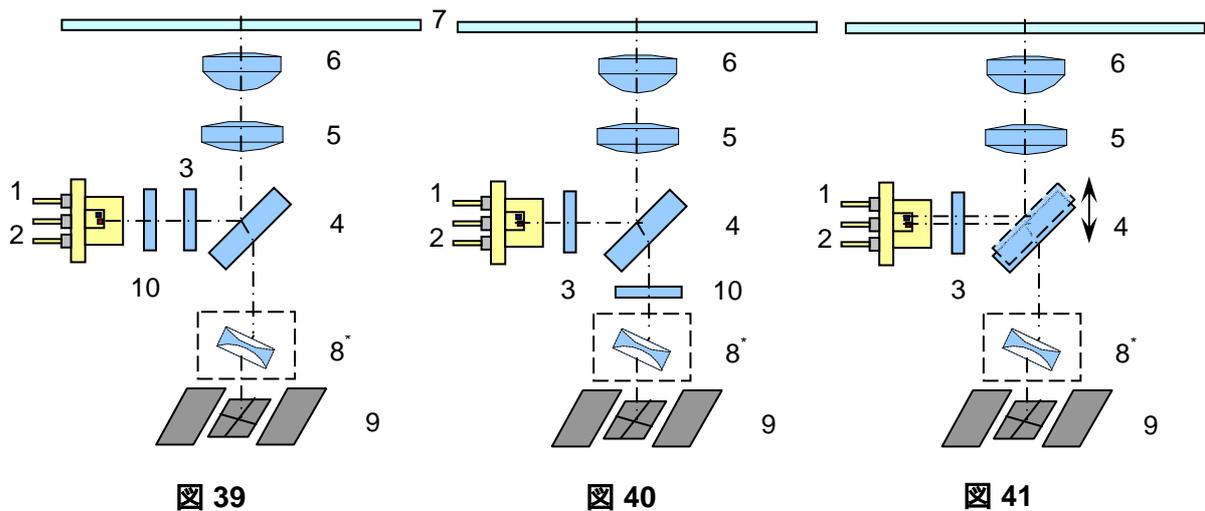


図 38



このツインレーザを用いた最も単純な光学系の構成を図 38 に示す。しかしこの構成には大きな問題があり、改善が必要である。レーザ 1 が光軸からずれている。光学系はあらゆる対称性のずれに大変敏感である。さらに、このようなレーザでは 2 つのレーザスポットを一つの光検出器に当てることができない。このシステムの改善に使える、すべてのパリエーションを列挙してみよう。光軸を 1 つにするには 2 つの方法がある、ディスクに当たる前と、ディスクに当たった後である。これをするために、ホログラム光学素子 10 (図 39 と 40) を新たに挿入しなければならない。さらにもう一つの方法は、#15「ダイナミック性原理」を用いて光軸を 1 つにすることである (図 41)。レーザを切り替える必要がある時に機械的システムで HM を動かす。

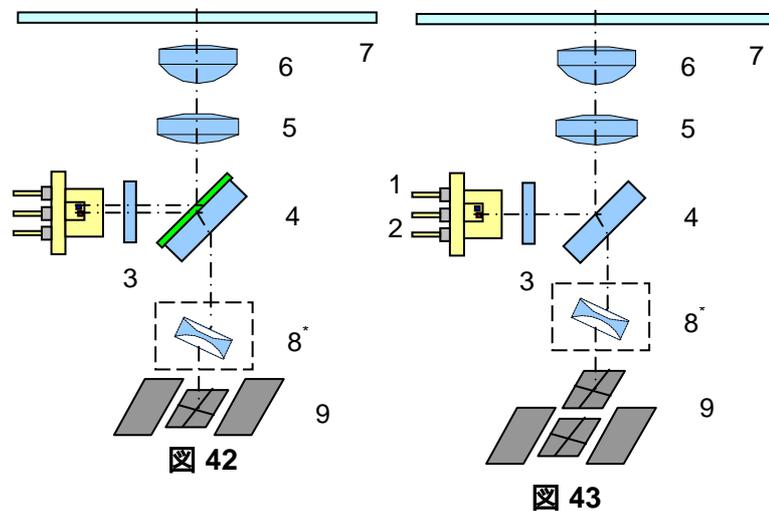


図 36 に示したシステムを思い出すと、次のシステム (図 42) を提案できる。ところで、われわれはなぜ 2 つのレーザスポットを 1 つの光検出器に当てようとしているのだろうか。「災い転じて福となす」原理はどうか。2 つ目のレーザスポットが当たる場所に 2 つ目の光検出器を置いてみよう (図 43)。

- センサ・レンズ 8 は、図 39-43 のすべてから容易に削除できることがわかるだろう。次の進化の段階はコリメータレンズ 5 のトリミングだろう。これは 2 つの方法で可能である。
- CL の機能を対物レンズに移転する (図 44);
  - CL の機能を半透明鏡に移転する (図 45).

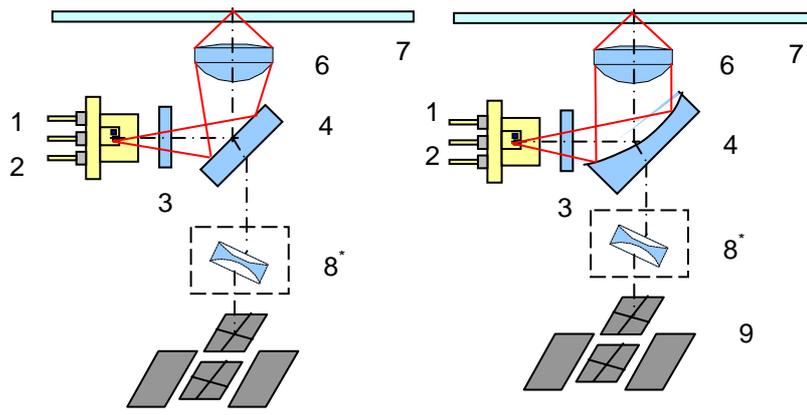
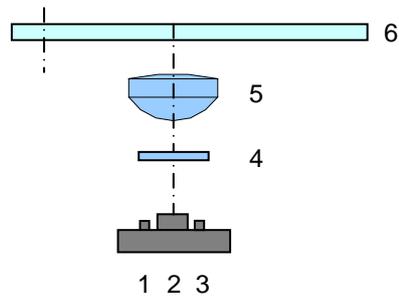


図 44

図 45

### 3. 終わりに

この論文は思考過程のすべてを述べたわけではない。しかしながら、ここで述べた題材からわかることは、TRIZ 方法論はシステムの更なる発展を予測できるため、設計の仕事を大幅に改善できることである。TRIZ に従うと、将来の光学的記録再生システムにおける光学系システムは図 46 に示すようになると言える。



- 1. CD レーザダイオード
- 2. 光検出器
- 3. DVD レーザダイオード
- 4. ホログラム光学要素
- 5. 対物レンズ
- 6. ディスク

図 46

次のステップはどうしたらよいだろうか。一緒に考えましょう。