

パナソニック・イズム

ism

モノづくりスピリッツ
発見マガジン

アーカイブ
Archives

SHARE

▶ コンテンツ一覧

▶ このサイトについて

ism トップ > アモルファスと結晶のはざままで ～相変化記録技術～

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

アモルファスと 結晶のはざままで

相変化記録技術

デジタル革命&メディア革命の主役、DVD。
その進化を支えたキーテクノロジー「相変化技術」の
苦節と幸運に満ちた誕生秘話を、
オーディオ&ビジュアル評論家・山之内正がドキュメントする。

Contents

Opening

はじめに

1973~

第 1 章

「海鳴りの彼方に音楽が聞こえる」

1984~

第 2 章

材料開発の天国と地獄

1990~

第 3 章

書き換え型ディスク標準化をめぐる攻防

1999~

第 4 章

相変化で世界のトップを走り続ける

取材・文 山之内 正

スタッフ一覧へ / はじめにへ

このコンテンツ、あなたの評価は？



おもしろい



ふつう



おもしろくない

送信

ism トップ

コンテンツ一覧

| このサイトについて

アモルファスと結晶のはざままで 相変化記録技術

TOP

はじめに

第 1 章

第 2 章

第 3 章

第 4 章



DVDレコーダーが急速に普及し、12cmの光ディスクはいつのまにかどのメディアよりも親しみやすい存在になりつつある。

■DVD断面

記録マーク



DVDや音楽用CDは、デジタル信号をディスク表面の微小な凸凹として記録している。データを読み出す際は、ディスク表面にレーザー光を照射し、凸凹の状態によって変化する反射光を検出する。

DVDの成功を支えた相変化技術。実用化までの苦難の道のり。

1996年にDVDが登場したとき、いずれ「記録できるDVD」が出るという話題が大いに盛り上がった。ビデオテープと同じように何度も繰り返し録画できるディスクも登場すると聞いて、待ち遠しい思いにかられたものだ。

念願叶って記録型DVDは3年後に発売された。しかし、最初のDVDレコーダーが発売された1999年当時、DVDレコーダーの普及がこれほど短期間に進むことを誰が想像できただろうか。いまや（2003年）「買いたいものベスト3」に登場し、ビデオデッキ買い換えのために電気店に足を運んだ人がDVDレコーダーを買って帰る。DVDレコーダーはそれほどポピュラーな存在になった。そんな時代がこれほど早くやってくるとは思いもよらなかった。

DVD録画がこれほど人気を呼んでいるのは、デジタルの画質の良さと手軽さ、ディスクならではの扱いやすさが広く理解され始めたからだ。DVDというメディアに対する安心感もある。CD、そしてDVDビデオが生活のなかに定着し、12cmの光ディスクはいつのまにかどのメディアよりも親しみやすい存在になっている。そのおなじみのディスクに録画できることの安心感。それがDVDレコーダー人気を支えているといつてよい。

ところで、繰り返し録画できるDVDが再生専用DVDとはまったく異なる原理で信号を記録していることは、意外と知られていない。少し詳しい人なら、DVDはディスクに記録された微小な凹凸をレーザーピックアップで読み取るという原理を知っているかもしれない。だが、繰り返し録画のできるDVD-RAMやDVD-RWはどうやって映像や音楽を記録しているのだろうか。そこまで踏み込んで仕組みを知っている人は、それほど多くないのではないか。

種を開かせば書換え型ディスクは相変化という現象を利用しているのだが、その相変化による繰り返し記録が記録型DVDとして実用化されるまで、実は想像を絶するような長い年月がかかっている。基礎研究のスタートから数えると、なんと30年近い。30年前といえばDVDやCDは影も形もなく、VHSですら家庭用としての普及はまだまだ先のことであった。

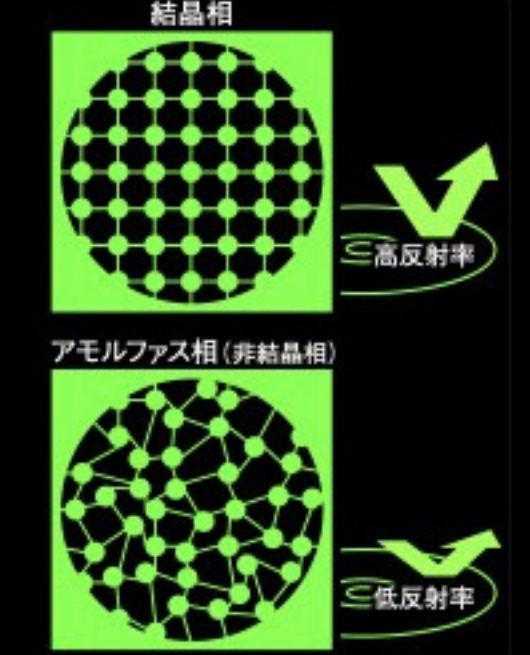
ここで紹介する話は、いまから30年も前に録画できる光ディスクを夢見た技術者たちが、いかにして夢を実現させたか、その苦難の道のりのドキュメントである。松下電器中央研究所に生まれた小さなプロジェクトチームの研究が発端となり、やがてグループ企業を巻き込んで全社規模で取り組むDVD事業に発展することになるのだが、その道筋は決して平坦なものではなかった。特許をめぐる突然の訴訟、10年以上にわたり地道に続けられた材料開発、プロジェクトチーム解散の危機、ライバル企業との熾烈な技術論争など、多くの危機が待ち受け、様々な障壁が立ちはだかっていた。

<つづく>

アモルファスと結晶のはざままで 相変化記録技術

TOP | はじめに | **第1章** | 第2章 | 第3章 | 第4章

「海鳴りの彼方に音楽が聞こえる」



上図は原子が規則的に並んだ「結晶相」。下図は原子が不規則に並んだ「アモルファス相」。相が異なると、読み込み用レーザーの反射率が異なる。



光で記録し、消せる。この不思議な現象に、先輩技術者につづいて若い技術者たちも惹きつけられていった。

相変化技術の商品化を目指す研究陣の意気込みと執念。10年間の努力によって世界初の記録型光ディスクを完成させるまで。

1970年代後半、松下電器中央研究所の相変化プロジェクトチームに配属された大原俊次は、顕微鏡の像を凝視していた。結晶からアモルファスに変化した部分は表面が黒く変化する。その変化の有無を見逃さないよう、真剣な目が光った。

相変化とは、熱を加えられた物質が結晶相とアモルファス相（非結晶相）の間で構造変化を起こす現象を指す。温度上昇によってくずれた結晶構造が、ゆっくり冷やすと結晶に戻り、急冷させるとアモルファスになる。結晶状態とアモルファス状態では光学特性や電気特性が異なるため、その変化を利用してメモリーを作ることができるのだ。当時松下電器のプロジェクトチームは、光反射率の変化を利用して書き換え型光ディスクを開発することを最終目標に掲げていた。

大原が取り組んでいた実験は、まさに相変化草創期の地道な研究の一環である。記録実験は、いきなりディスクでやるわけではない。細かくちぎったディスクの薄片をX-Yステージに乗せ、顕微鏡の対物レンズでレーザー光を絞り、ディスク片を透過させる。波長830nm（0.00083mm）の赤外光なのでレーザー光自体は目に見えない。反対側に置いた光検出器で明るさを検出する。フォーカス機構もディスク回転機構もなにもない。光が記録面に当たり、記録されると透過する光量が減る。「検出器を見て、オッ、記録した!と思ったらディスク片をソーツと動かす。そして顕微鏡で確認。そんな原始的な実験がスタートでしたね」。

相変化プロジェクトチームの結成は1973年にさかのぼる。山下忠興室長のもとに化学畑出身の竹永睦生と物理出身の太田威夫が配属され、1974年には新入社員山田昇と赤平信夫もチームに加わる。

開発を始めた当初、記録物質を保持する媒体を何にするかをめぐって、山下、太田、竹永の3人の間で意見が真っ二つに分かれたことがあった。竹永と太田はテープを使うことを提案し、山下はディスクにするべきだと主張。多数決でテープ派が勝った。

テープを推した竹永は、当時はディスクの方が操作が面倒という意識があった。レコードにカートリッジを乗せる操作を連想していたのだ。一方のテープはカセットに入れられる。記録面に触らずに済むので信頼性も高い。実際にテープメディアを想定して1年ぐらゐ研究を続けたが、実は光記録の実現が予想以上に難しいことがわかった。テープの幅方向に高速・高精度で往復させる光ヘッドが存在しないのだ。山下は「やっぱり大変だ。俺が言った通りだ。よし、ディスクで行こう」と勝利宣言。テープを諦めてディスクを前提にした開発が再スタートした。大原がチームに参加したのはその直後のことだった。

1970年代後半といえば、オーディオの世界ではデジタル記録が話題に上り始めた頃である。アナログの次はデジタル記録、そしてテープから光ディスクへと夢はふくらむ。

相変化チームもオーディオ用途の光ディスクをアナログ記録ながらなんとか試作し、松下幸之助相談役を招いてデモを行う。相談役は「海鳴りの向こうに音楽が聞こえる」と感想を漏らしたという。開発メンバーを思いやっていたの発言だが、ざわざわというノイズに埋もれて音楽が聞こえる状態が目に見えぬ。記録材料の感度が低く、十分なS/Nを実現することができなかったのだ。

当時は相変化といっても一度記録したらおしまいの「ライトワンス方式」しか実現できず、書き換え型ディスクを実現するためには、さらに数年の研究を重ねる必要があった。その開発段階において中心メンバーとして活躍したのが、赤平と山田である。

赤平と山田は同期の入社で、中央研究所に配属された理由もよく似ていた。石油ショックのあおりで内定していた配属先から断られ、たまたまメンバーを募集していた相変化プロジェクトチームに配属されたのである。特に赤平は相変化を修士論文で取り上げていたこともあって、新入社員にも関わらず、いきなりプロジェクトに組み込まれたらしい。「最初にやったことは真空装置の修理です（笑）。大学で身に付けた装置を扱うノウハウが役に立ちました」と赤平は当時を振り返る。

真空装置を駆使して赤平が最初に取り組んだテーマは、適切な相変化材料を見つけることだった。太田が見つけた酸化テルルをベースに添加物を加えたり比率を変えたりして、フィルムに蒸着させる実験を毎日繰り返す。どのぐらいのエネルギーで変化するのか、変化率が大きい物質はどれか。課題は山ほどある。いろいろな種類の薄膜を作って特性を測る作業で最初の一年間はアツという間にすぎっていた。地味な作業だが、任せられていたので仕事は楽しかったという。

記録層の材料開発を山田に受け渡し、赤平が次に取り組んだのはディスク構造の研究だ。記録材料がいくら優れていても、それだけでは書き換え型ディスクは完成しない。山田が担当した材料探索、大原が進めていたピックアップ開発、そして赤平が中心になって進めたディスク開発の三者が連動することによって、相変化技術の開発はいよいよ軌道に乗り始めた。

レーザー光によってディスク表面に形成するマークの大きさはわずか1μm（0.001mm）前後。ディスク上の僅かな傷やホコリの存在は記録に致命的な影響を与える。当然ながらディスク表面は平滑で無傷でなければならぬ。僅かな傷をつぶしていく作業は、スタジアムのなかから直径1mmの砂粒を見つける行為に等しいという。気が遠くなるような話だ。

赤平がまず取り組んだのは、当時ディスク材料として使っていたアクリル板をきれいに洗浄することだった。特別な装置を使うわけではない。洗剤を使って徹底的に洗い、きれいになっているかどうか、顕微鏡で確認する作業の繰り返しだ。

当時の相変化記録は平坦なディスクにいきなり記録トラックを形成させる手法をとっていた。隣接するトラックはモーターを高精度で動かして記録していくため、トラック間のピッチは約2μm（0.002mm）ほど空けておく必要がある。この方式ではモーターの動きの僅かな振れで記録が不安定になるうえ、高密度記録にも限界があった。そこで採用されたのが、ディスクにあらかじめ溝を作っておき、それをガイドにして記録する方法であった。アクリル板を洗浄していた努力は無駄になってしまうが、この溝を形成する方法は赤平が自ら提案したという。この記録方法は今日のDVD-RAMにも受け継がれている。

同じ頃、大原はピックアップに使用するレーザー光源に悩まされていた。当時はガスレーザーが主流だったが、上司の吉田富夫が「これからは半導体レーザーになる」と宣言。半信半疑で日立からデバイスを購入し、実験を進める。当時は松下に最適な半導体レーザーが

なかったので、日立からサンプルを購入してきたのである。トラブルはいきなりやってきた。購入してきたサンプルは、なんと電気を通した直後に壊れてしまったのである。日立に頼んでサンプルを再度入手。今度はうまく記録することができた。相変化記録を、半導体レーザーを使ったピックアップで世界で初めて実現した瞬間であった。

1983年4月、相変化チームが10年にわたって取り組んできた成果を世に問う日がついにやってきた。静止画を相変化で書き換え記録できる装置を完成させ、それをニューヨークで記者発表したのである。相変化を利用した記録専用ディスクはすでに販売していたが、書き換え型の実現はまさに快挙。記者たちの目の前で起こった書き換えのデモンストレーションによって予想を超える大反響を集め、ニューヨークタイムズ紙にも大きく取り上げられた。特に、渡米した日に誕生日を迎えた大原は、当時の記憶が鮮明に蘇る。装置を実際に取り扱える唯一のスタッフだったこともあって、発表会前日は「お前にもし何かあったらデモできない…ホテルを一步も出るな」と命じられたという。開発陣の思い入れの強さが伝わってくるエピソードだ。

相変化プロジェクトに関わったメンバーは、書き換え型大容量光ディスクの順調な滑り出しを喜んだ。ところが、その喜びも束の間、思いもよらない危機が待ち受けていたのである。

<つづく>



「1980年代まで相変化は苦労が加わりました」
現 デバイス・環境・生産技術企画室 技監 竹永睦生



「当時はシミュレーションが難しく、勘と実験が頼りでした」
現 メディア制御システム開発センター 企画推進グループ マネージャー 赤平信夫



これがそのピックアップ。大原の「手作り」である。



「Matsushita Shows An Erasable Disk」とニューヨークタイムズ紙にも取り上げられるほどの大反響。しかし、そこから思わぬ問題が...

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

アモルファスと結晶のはざままで 相変化記録技術

TOP	はじめに	第1章	第2章	第3章	第4章
-----	------	-----	-----	-----	-----

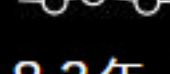
材料開発の天国と地獄



1997年11月オプシンスキーご夫妻を松下電器に招き、ご講演いただく。写真はディナーのときのもの（写真前列中央がオプシンスキー博士、左がご夫人、後列左から末光元中研所長、梶野元光ディスク開発センタ所長）

訴訟問題の解決直後から繰り返し性能の改善を目指し、材料探索をはじめとする科学的な開発がスタート。プロジェクトは幾度と無く行き詰まるが、ブレイクスルーが起きて、ついにすべてが変わる。

1983年春、世界初の書き換え型光ディスクを米国で発表し、帰国した相変化プロジェクトのメンバーに、予想もしていなかった知らせが飛び込んできた。米国のECD社が、松下電器の書き換え型光ディスクが同社の特許を侵害しているという訴訟を起こしたというのである。ECD社は、相変化を利用した記憶プロセスの「原理」を発見したオプシンスキー氏が創設した企業である。1960年代末に同氏がPhysical Review Lettersに発表した論文がきっかけになって、世界中の企業や研究機関が相変化技術の研究を始めた経緯がある。この問題の調整には松下の上層部が動いた。その結果、1983年も終わりに近い12月、特許許諾条件で両社が合意し、ECD社と共同開発を進めることで着着がつくことになる。「自分を見つけ、日本の優秀な技術スタッフがものにした」。近年、オプシンスキー氏は相変化技術について、こう語っているという。ECD社との間で良好な関係を継続できたことは、その後の相変化技術の発展に大きく寄与することとなった。



特許問題が解決した1983年12月、相変化記録材料のプロジェクトに新しいメンバーが加わるようになった。大阪大学の物理学博士課程修了後、録音機事業部で蒸着テープの開発に取り組んでいた高尾正敏である。磁気記録と光記録では領域がまったく異なるが、記録材料の開発というテーマは共通する。相変化プロジェクトの開発パワーをさらに強化するため、材料開発に豊富な経験を積んでいた高尾が選ばれたのである。当時、記録材料の見直しを迫られていた理由は2つ。書き込み速度の向上と、繰り返し回数の増大である。「書き込み速度の向上」は記録密度の向上に不可欠で、ミリ秒～マイクロ秒単位の記録速度をナノ秒単位まで高速化することが目標だった。「繰り返し回数の増大」は、コンピューター用記憶装置として実用化するうえで欠かすことができない。記録密度の高い新たなディスク構造となった時点では数十回程度だった繰り返し回数を、最終的に100万回のオーダーまで増大させることを目標に掲げた。



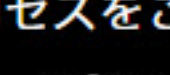
「21世紀を見通し、CDに代わる次世代メディアを作る」という意気込みのある技術者を集めて、週に1回、会合を開きました。当時の室長クラスの技術者が中心でしたが、太田、赤平も加わっていました
中尾研究所 総括担当 高尾正敏

この2つの課題に正面から取り組むことになったのが、高尾と、1974年からプロジェクトに参加して地道に材料開発を続けてきた山田昇である。二人がまず取り組んだのは、材料探索を進めるためのストーリーを構築することであった。その理由を山田はわかりやすく説明してくれた。「当時はまだ科学的なアプローチができる段階ではありませんでした。特に相変化は結晶とアモルファスという2つの相に関わる過渡現象なので、そこで起きていることを想像する力が要求されるんです」。勘だけで開発を進めるのではなく、まず実験結果に基づいてストーリーを考える。それに沿って方向性を見つけ、開発の軌道修正をしたり、新たな方向を見出していく。結果としてその手法が大きな実を結ぶことになった。



「相変化現象は結晶とアモルファスという両端の状態を理解することに加えて、その過渡応答に対するイメージーションが要求されます。理想的な材料を見つけるには、理論だけでなく実験に基づく直感が必須だと思っています」
AVCモバイル・サーバー開発センター メディア開発グループ 第2技術ユニットリーダー 山田昇

高尾と山田が考えたストーリーを単純化するとこうなる。「結晶化速度の速い物質を探そう。その物質は、結晶の対称性がよく、液体に近い構造の物質に違いない」。結晶化速度を速くする理由は単純だ。アモルファス（非結晶）化するには急速に冷やせばよいので、その時間は原理的にいくらかでも短くできるが、一方、結晶化するには原子が動いて所定の位置に入る必要があるから時間がかかる。その時間、つまり結晶化速度を速くすれば、記録速度を上げることができるというわけだ。では、「結晶の対称性がよく、液体に近い構造の物質」とはどのようなものなのか。液体の分子はランダムな状態で分布しており、ある分子のまわりを見ると、ほぼ均一な構造になっている。これは対称性が一番高い構造だ。結晶の構造もまた、最も対称性の高い立方格子。その次は面心立方格子という具合に、構造によって対称性に違いがある。そんな、液体に近い構造、つまり対称性が高い物質こそが結晶化速度の速い物質であると高尾と山田は考えたのである。その理論に至るプロセスをここで再現してみよう。

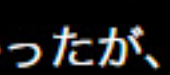


当時、記録層の材料として酸化テルルを使い続けてきた。そこにどんな物質を加えれば、結晶になりやすい材料が出来上がるのか。その答えを見つけることが求められていた。1984年、山田は追記型の材料として酸化テルルに金を加えると結晶化速度が速くなることを発見する。その物質を調べると、金とテルルが化合物として単結立方晶の構造が出ていることがわかった。どうもその構造が結晶化速度を上げているらしい。

1985年には、IBMのチェン氏がゲルマニウム-テルル系で結晶化速度が速くなることを発見する。この物質もNaCl（塩化ナトリウム＝面心立方構造）に近い対称性の高い構造をもっていた。面心立方構造をもつものをさらに探せば、結晶化速度の速い物質を見つけ出せるのではないかと…その仮説を元に山田が狙いを定めたのが、ゲルマニウム-アンチモン-テルル（Ge-Sb-Te）という組み合わせだった。ただ、ゲルマニウム-アンチモン-テルルと言ってもさまざまな組成が考えられる。どのような組成にすれば前述の目標（「ナノ秒単位の書き込み速度」と「100万回以上の繰り返し記録」）に近づくことができるのか、仮説立てと検証実験が繰り返された。そうしてようやく見つかったのが、いまや相変化の記録材料として広く使われている『GeTe-Sb2Te3』という組成である。発見は1986年暮れのことだった。この材料がいかに画期的なものだったか、数字で検証してみよう。前の年まで最速の書き換え速度を実現していた物質の場合、書き換え時間は0.2μs（1千万分の2秒）であった。これでもそれ以前に比べると約10倍の速度である。それに対し、ゲルマニウム-アンチモン-テルルは僅か20ns（1億分の2秒）で結晶化する。これは、さらに約10倍（当初の約100倍）に相当する数字である。しかも材料レベルでは繰り返し回数が100万回を超え、寿命も長い。

翌年9月、高尾、山田らがその結果を発表すると、世界中でセンセーショナルな反応が沸き上がった。それまでの記録材料とは比較にならないほど安定した記録ができる材料であることが、各国のさまざまな研究所での追試によって次々に証明されたのだ。当時の心境を山田はこう語る。「1986年に『GeTe-Sb2Te3』を見つけるまでは失敗の連続だったんです。本当にできるのかなと、ずっと疑問に思っていました。この技術はこのまま終わるのかもしれない、と。しかも、最初世の中は相変化というのは凄い技術だともはやしてくれて、どんどん行け！という話になっていたにもかかわらず、その頃になるとIBMも含めて他社が世界中で手を引き出したんです。そうすると不安になりますよね。本命はMO（光磁気記録）だろっていう声も社内外にありましたし…」。

だが、一方で山田には自信があった。すでにキーとなる材料が見つかったからである。世の中の趨勢とは逆に、会社のなかで山田たちは元気だったという。見つかった材料をうまく組み合わせれば、それなりのものができるという確信を持っていたのである。1986年前後に他社が相変化から手を引いたのは、材料を見つけないことができなかったからにほかならない。いったん山田らが材料を発見し、発表してからは、各社が競うように相変化技術の開発を進めるようになったことから、そのあたりの事情が推察できる。



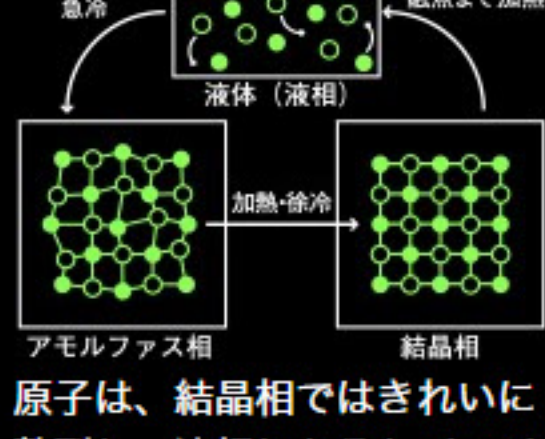
さて、記録材料は見つかったが、そこで問題がすべて解決したわけではなかった。まず、ディスクの状態でも十分な繰り返し性能を実現する方法を見つける必要があった。記録を重ねるにしたがってディスクの基板が傷み、繰り返し回数が制約されてしまう問題が持ち上がったのだ。その問題も、記録層の上下を誘電体で挟むことで解決する。誘電体層に熱を効率的に逃がしてやれば、基板を傷めずに繰り返し記録することができるというわけだ。問題はまたしても材料を見つかる。どんな材料をどのぐらいの厚みで使えばいいのか。熱的に安定でなければならぬし、光学特性も重要な。最初はいろいろな酸化物などを試したが、ほとんどの物質は繰り返すと劣化する。次に試した硫化亜鉛は、そこそこいい特性が出た。だが、やはり繰り返しによる劣化は起こる。

ところが、ここに石英を加えると、途端に大きな改善が見られた。繰り返し性能は100回前後から一気に100万回のオーダーに到達する。石英を加えることは、当時中央研究所の所長だった新田取締役の助言であった。これならハードディスクにも対抗しうる性能が出る。記録材料としての本当の意味でのブレークスルーが可能になる。その驚くべき結果が出た瞬間のことを、赤平は鮮明に記憶している。「データを調べるときはせいぜい100回ぐらいを目処にやっていました。100回もたなかったら捨てて別の材料を探そう。ところが、この材料に行き当たったとき、普通は100回前後でへたってカーブが右肩上がりになるのに、いきなり平行線が出た！おかしんじゃないか、測定装置がこわれたのかと思いましたね。じゃあ1000回でやってみよう、次は1万回。…まだまだ行ける！山田と一緒にデータを見ながら興奮したのを憶えています」。いままで出なかったデータがいきなり出る。これがまさしくブレイクスルーである。

他社が追試を繰り返しているとき、材料探索で先行していた松下電器はすでに商品化の段階に入り、1990年には他社に先駆けてコンピューター用書き換え型光ディスクを完成させた。相変化の時代がいよいよ幕を開けたのである。そして、時代はDVDに向けて大きく動き始めていた。

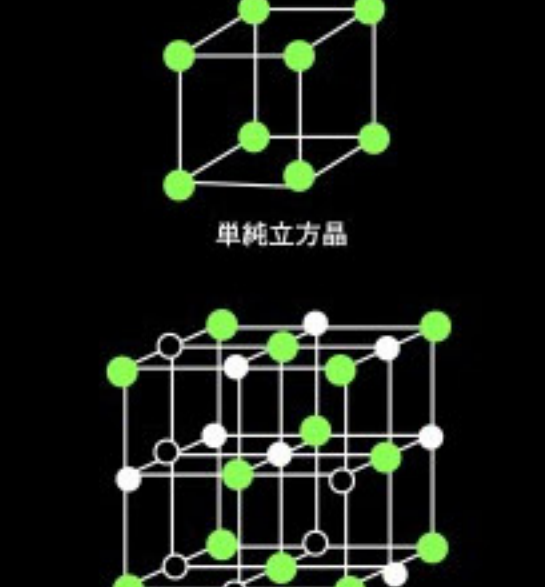
<つづく>

■対称性の高い結晶の相変化



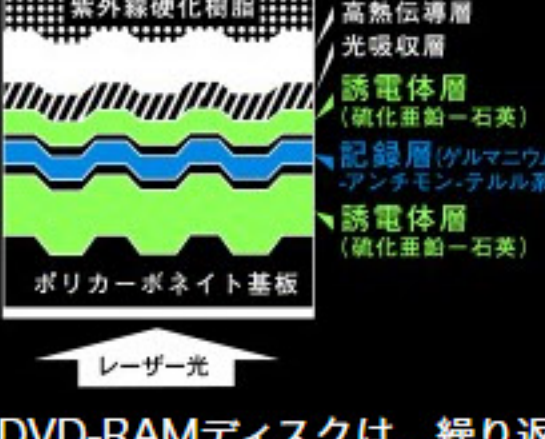
原子は、結晶相ではきれいに整列し、液相になるとバラバラに飛び交い、アモルファス相になったとき、固定化はするが整列はしない。対称性の高い結晶は、全ての相において、原子同士が均一な関係性を持っているので、「わずかな」原子の移動で「すばやく」アモルファス相から結晶相に転移（大きい結晶化速度を実現）することができる。

■対称性の高い結晶構造



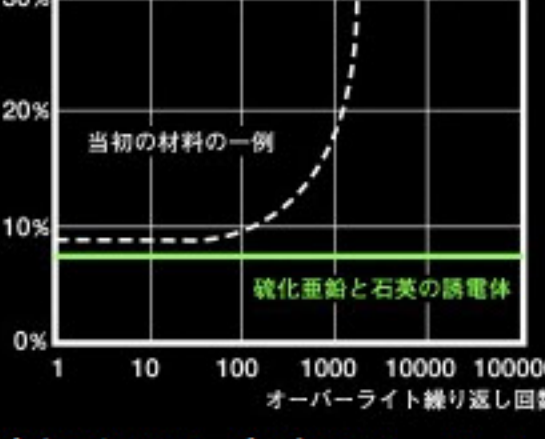
ゲルマニウム-アンチモン-テルル系のような、対称性が高く液体に近い結晶構造なら、結晶化時の原子移動が小さく結晶化速度が速いはずだ！と高尾と山田は考えた。

■DVD-RAMディスク(4.7GB)の断面の層構成

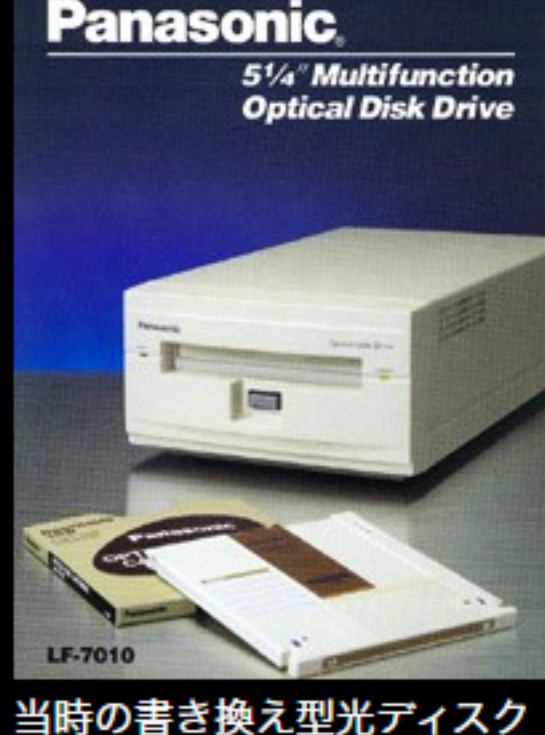


DVD-RAMディスクは、繰り返し性能を実現するため、わたしたちの目には通常見えない微小なレベルで、様々な材料が何層にも重なっている。

■オーバーライト繰り返し性能



当初は100程度でのオーバーライトで、記録位置のずれが生じていた。ところが、硫化亜鉛に石英を加えた誘電体で記録材料を挟み込むと、上記グラフのような平行線があらわれた。



当時の書き換え型光ディスクとそのドライバ型光ディスク。ディスクは130mm、500MBの大容量を実現し商品化された。

アモルファスと結晶のはざままで 相変化記録技術

TOP | はじめに | 第1章 | 第2章 | 第3章 | 第4章

書き換え型ディスク標準化をめぐる攻防

DVDタスクフォースが組織され、松下電器のリソースをすべて投入したDVD開発がスタート。書き換え型開発陣は、規格化をめぐるライバルとの激しい攻防の日々を送る。そのあとには4.7GBの壁が立ちほだかっていた。

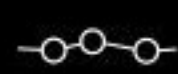
松下電器は、相変化技術のブレークスルーを経て、1990年、世界初の大容量書換え型ディスクドライブ「LF-7010」を発売した。13cmディスクで片面500MBの大容量を実現し、10万回以上の繰り返し回数を確保したこの装置は、コンピューターの記憶装置として画期的なものだった。しかし、時代は予想以上のスピードで動いていた。この装置は期待していたほど売れなかったのである。

なぜ売れなかったのか。当時、MOディスクがすでに登場していたほか、ハードディスクドライブの大容量化も急速に進んでいた。コンピューターユーザーの選択肢が増えるなか、「LF-7010」は、相変化ディスクならではのメリットがどこにあるのか、十分に訴求できなかったのである。

そんな状態を打開するため、1994年、DSD事業部の今中良一が新しい提案を行った。コンピューターのCD-ROMドライブに入る記録メディアを作れば、普及するに違いない。光磁気方式に比べて相変化方式はピックアップの構造がシンプルなので、一つの筐体に収めることができる。そんな内容の提案だった。

その提案を受けて開発されたのが、CDと同じ12cmで650MBの容量を実現した書換え型光ディスク「PD」であった。CDと同じ感覚で何度も記録ができる。素晴らしい商品に仕上がった。

ところが、PDも思わぬ苦戦を強いられた。技術を非公開にした点など、不振の理由はいくつかある。コンセプトは優れていたが、実際の販売には結び付かなかったのである。だが、PDが登場したことによって、相変化メディアに対する各社の認識は一気に高まることになった。いままもなく使われている相変化書換え型ディスク「CD-RW」は、PDが登場しなかったら目の見ることはなかっただろう。



商品としての成功は一歩手前の段階でとどまっていたが、相変化技術の進化は着々と進んでいた。1990年、松下電器社内で「PC-NEXT」活動がスタートする。この活動を主催したのは、



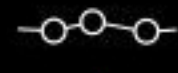
「21世紀を見通し、CDに代わる次世代メディアを作る」という意気込みのある技術者を集めて、週に1回、会合を開きました。参加した技術者の多くは若手で、太田、赤平も加わっていました」

この活動を通じて、現在につながる重要な技術検証が行われた。0.6mm厚の基板を貼り合わせたディスクを初めて作り、技術的な検討を行ったのである。0.6mm基板は、CDが採用している1.2mm基板に比べると、ディスクの傾きによって生じる光スポットの歪みが半分で済むため、記録容量を大幅に増やすことができる。強度を確保するために、0.6mm基板を2枚貼り合わせれば、CDと同じ厚みになり、互換性の点でもメリットがある。その貼り合わせ構造が技術的に実現可能であることを確認したことが、「PC-NEXT」の大きな成果であった。この技術はDVDの基本特許になっている。

「この時期を境に、相変化の時代は大きく変わりました。これ以降は打つ手すべてが成功しています。信じられないぐらいうまく行っていますね。もちろん松下電器だけではなく、他社の力も大きいんですが、そうした協力が得られる体制になったことが大きいですね」と佐藤は語る。

相変化技術の進化をさらに進めるため、1991年には相変化をテーマにした世界初の学会「相変化シンポジウム」が太田を中心にスタートする。それまで各社ばらばらだった研究者を一堂に会して、方向を定めた研究開発を進めることが狙いであり、この学会は現在も継続して開催されている。

さらに、相変化光ディスクの標準化を目的に、1992年には「相変化光ディスクワークショップ」がスタートする。「相変化シンポジウム」と「相変化光ディスクワークショップ」の活動が両輪となって、相変化記録技術は広く国際的に認知されることになるのである。技術者同士の横のつながりを強化することになったこれらの活動において、太田、佐藤の果たした役割は大きい。



さて、相変化技術が本当の意味で開花するためには、DVDと連携した技術開発を待たなければならなかった。松下電器がDVDに全社規模で取り組むことを決定した「DMタスクフォース」は、1992年7月にスタートする。その巨大プロジェクトの詳細は次回に譲ることにして、ここで、相変化技術の進化をたどるために必要な情報に絞って、DVD誕生のいきさつを思い出してみよう。

DVD開発の準備段階として、1991年に東芝との共同開発が始まった。当時東芝には、タイムワナーから映像ディスク開発の話が持ち込まれていた。映画1本をまるごと記録できる大容量ディスクを作れないかという打診であった。記録時間は最低でも133分という条件だったが、当時東芝の評価では容量が30~35%足りなかったのだという。

そこで、すでに形成試作を進めていた松下電器の0.6mm基板技術に白羽の矢が当たった。その可能性をいち早く見抜いた東芝は、再生専用ディスクを開発する過程で、それまでの1.2mm基板から0.6mm基板の貼り合わせ構造に方針転換を行う。この基本構造を前提に、松下電器、東芝など数社が次世代光ディスクとしてSD規格を発表する。1994年末のことであった。その一方、ソニー、フィリップスは次世代光ディスクとして「MMCD」を提案したが、こちらはCDとの連続性を図るために1.2mm厚の基板を採用していた。SDとMMCDという2つの規格が併存するのか、それとも一つの方式にまとめるのか。1995年は両陣営の激しい駆け引きが行われた一年間であった。

最終的には、SD規格の物理フォーマットとMMCD規格の変調方式を組み合わせることで両者が合意に達し、1995年末、DVDフォーマットが誕生することになった。こうして、0.6mm基板を貼り合わせるという基本的なディスク構造が、DVDの物理フォーマットに採用されたのである。この技術が相変化プロジェクトに端を発して実用化に至った事実は意外と知られていない。



さて、1995年にPDの発売までこぎつけた相変化プロジェクトは、DVD時代に向けて新たなステップを踏み出していた。そもそも書換え型光ディスクの開発は、動画の記録を最終目標に掲げていた。具体的な商品イメージは、VHSに置き換わる家庭用ビデオディスクレコーダーである。その最終目標があったにも関わらず、それまでコンピューター用記憶装置しか製品化されていなかったのは、大きな理由がある。記録容量が圧倒的に足りなかったのである。

その状況を決定的に変えたのが、デジタル圧縮技術であった。なかでも画質を大きく損なわずにデータ量を数十分の1に抑えるMPEG2が完成したことは、再生専用ディスクはもちろん、家庭用書換え型ディスクの実用化をも強力に後押しすることになった。

MPEG2という強力な技術をバックボーンに、いよいよ書換え型の大容量光ディスクを家庭用メディアとして導入する時期がやってきた。DVD-RAMの出番である。

再生専用DVDは、1996年11月に第一号機が登場したが、ちょうどその頃、書換え型のDVD-RAMは規格化をめぐる激しい論議が繰り返されていた。規格の標準化を行うのは、DVD関連各社が集まる「DVDフォーラム」の書換え型ディスク・ワーキンググループである。そこを舞台に、松下電器、東芝など8社が主張するAフォーマット（現在のDVD-RAM）と、ソニー、HPなど3社が提案した別のフォーマット（現在のDVD+RWの原型）の間で、標準化をめぐる激しい議論が行われた。

当時の事情を大原はこう振り返る。「Aフォーマット陣営は数の上では優勢でしたが、そのためにかえって完璧さを求められていたところがあります」。赤平はその当時の苦勞を物語る裏話をこう紹介する。「金曜日の会議のために3~4人のメンバーで新幹線の個室を予約し、東京に向かう車中で戦略を練りました。そのあと会議で技術論争を激しく戦わせ、浮かび上がった課題を帰りの新幹線で再検討します。その場からサンプル作りを電話で本社に指示することもありました。次の週の会議までに結果を出すためには、そうしないと間に合わなかったんです。そんなハードな日々が半年以上も続いたんですよ！」。

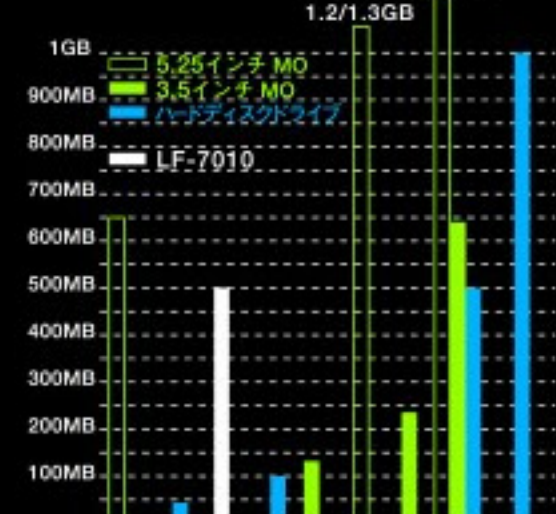
激しい議論が実を結び、Aフォーマットは「DVD-RAM」としてついに「DVDフォーラム」で認証され、正式な書換え型規格として1997年にデビューする。強力なライバルの存在が、フォーマットの完成度をさらに高めることにつながったといえるだろう。この時点で実現したDVD-RAMは、片面2.6GBの容量を実現していた。次の課題は、DVDビデオと同じ4.7GBに容量を増やすことだった。

規格の標準化と容量拡大を目指す過程で、ちょうど10年前に材料探索でブレークスルーを成し遂げた山田が再び大きな仕事をすることになった。そしてひとつが、繰り返し回数の向上と高密度記録の両立である。

DVD-RAMに記録を繰り返していくと、1万回前後から記録信号の振幅が小さくなる現象が見つかった。山田は、記録を繰り返すうちに記録膜の両側にあるZnS-SiO₂層からイオウが記録層に拡散しているのを見た。そこで、拡散を止める材料を探る作業を始め、最終的に記録層と相性のいい素材を含む窒化ゲルマニウムを発見する。

こうした地道な改良を積み重ねた結果、ついに片面4.7GBの大容量DVD-RAMが完成する。1999年のことだった。

くつづく



MO ディスクドライブ
ハードディスクドライブ

1990年時点で片面500MBを実現した「LF-7010」は、容量ではMOやHDDをはるかに凌駕していた。



写真はPD/CD-ROMドライブ「LF-1002JB」。当時急速に普及しつつあったCD-ROMのドライブとしても使えたPDは、一部には高く評価されたのだが...



1998年に開催された「第10回相変化記録研究会シンポジウム」には、東林の大林元太郎氏、アリゾナ大学のMansuripur教授、大阪府大の奥田昌宏教授ら、産学の枠を越えた約120名が参加した。



VHS対ベータを思い起こさせるフォーマット競争が展開された。



圧縮しなければ、映画を1枚のディスクに収めることなど、とうてい不可能であった。



1997年にリリースされた片面2.6GBのDVD-RAM。



世界初の4.7GB・DVD-RAMドライブは、2000年7月に発売された

アモルファスと結晶のはざままで 相変化記録技術

TOP

はじめに

第1章

第2章

第3章

第4章

相変化で世界のトップを走り続ける



DVD-RAMによるDVDレコーダー1号機「DMR-E10」が、2000年6月に発売された。



ハードディスクドライブ内蔵型、VHS一体型、SDスロット付きなど、DVDレコーダーはバリエーションも豊富になってきた。

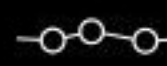
松下電器のDVD技術力はどこから生まれたのか？
技術者の強い“志”と、それが結集することで生まれた開発パワーは、Blu-ray Discの時代へと向かう。

2000年夏、4.7GBのDVD-RAMは、DVDレコーダー第一号機「DMR-E10」に採用される。それがホームビデオの世界を激変させるきっかけとなり、世の中は大きく変わっていった。短期間のうちに、DVDレコーダーはAV機器のなかで一番勢いのある分野に成長したのである。

DVDプレーヤーは発売後数年で普及ステージに入り、世界規模で地位を確立した。プレーヤーとソフトはCDと同じように誰もが知る存在になり、DVDの高画質とサラウンド音響の魅力が、ホームシアター市場を新たに創り出すところまで牽引力を發揮している。

DVDプレーヤーの慢性的な低価格化傾向が進み、価格競争に突入したかに見えたとときに新たに登場したのが、DVDレコーダーであった。ビデオデッキを置き換える存在として、登場後僅か1～2年で早くも市民権を得て、いまやDVD全体の売り上げのなかで録画機が占める割合は日増しに上昇している。「録画できるDVD」の登場が、DVDの勢いをさらに盛り上げる効果を發揮したことは明らかである。

さて、前回までは相変化技術の「生みの苦しみ」をめぐるエピソードを集中して紹介してきたが、では、相変化技術によって誕生したDVD-RAMが、DVD市場拡大を牽引する存在にまで成長することができた理由はいったいどこにあったのだろうか。最終回はそこにスポットを当て、これまであまり語られることのなかった話を紹介することにしよう。



松下電器がグループ企業を含む全社体制を固めてDVD開発に取り組んだのは、前回も紹介した通り、1992年にタスクフォースが発進したときである。この一大プロジェクトがスタートした背景には、山下忠興、太田威夫、竹永睦生ら、相変化技術に関わったベテラン技術者の存在があった。「松下のオリジナル技術で光ディスクを成功させよう」。彼らがことあることに主張してきたこの強い意志と熱意が、上層部を動かしたのである。社長を交えた勉強会、経営企画会議などあらゆる機会を通じて戦略を練り、可能性を探る。その結果、松下電器とグループ企業が有する資源をフルに生かし、光ディスクを成功させようというプロジェクトが日の目を見たのである。

「松下独自の技術」のなかでも、独自の材料を発見、開発した相変化技術は最も大きな存在であった。タスクフォース発進当時、相変化技術はまだ商品レベルで成功を取っていたわけではなかったが、「独自」技術であることは疑いの余地がなかった。しかも、コンピューター用途だけでなく、ホームビデオの領域で将来は飛躍が期待できる技術だ。相変化技術の研究を継続させ、さらにDVDのプロジェクトでこの技術に重点的に光を当てた当時の経営判断について、佐藤はこう振り返る。

「最後まで相変化技術をやめさせなかった判断が実を結んだんですね。『技術の成否がわからないという理由でプロジェクトを中止しない』。これは松下電器ならではの判断ですよ。それがよかった」。

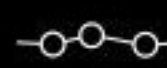
今回の取材の過程で、全員が口を揃えて語ったことがある。相変化技術とDVDが成功したのは、すべての資源がグループ内にあったからだということである。

「松下電器のなかでこれほど全社を巻き込んだプロジェクトはDVDが初めてでした。それができたのは、材料開発、半導体、光学ヘッド、ドライブ技術その他なんでも本社の研究所にリソースがあり、松下グループに優秀な技術者が揃っていたからです」。高尾はそう説明してくれた。現メディア制御システム開発センター所長の田中伸一が、高尾の説明を補



「保護層を薄くして光ディスクに更なる進化をもたらすという新しい流れを我々の手で創始した。それを大きなうねりにしていきたいという思いで技術陣は結束していた。その流れはBDに引き継がれ、今も脈々と流れている。」
メディア制御システム開発センター 所長 田中伸一

足する。田中は、CDの開発を経て光磁気の研究に関わり、その後DVD開発を担当するという、光ディスク一筋で生きてきた技術者である。「DVD開発は目的がはっきりしていたから成功したんです。PCとAVの両方で通用するフォーマットを作りたいという強い目的がありました。プロジェクトではヘッド、メディア、インターフェースと、すべての分野を統合しましたが、それほど大規模なプロジェクトは松下電器としては初めてのことでした」。



松下グループのパワーが結集されてゆく様子を物語るエピソードの一つを紹介しよう。

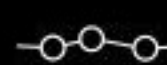
DVD誕生前夜、SD規格とMMC D規格が激しい技術論争を繰り広げていたときのことである。DVD-ROMドライブの開発で課題を抱えていたAVC社は、当時CD-ROMドライブ技術でトップを走っていた松下寿電子工業に技術開発の協力を要請することにした。事前に竹永が松下寿の本社がある松山まで出かけてフォーマット論争の概要を説明。その一週間後にマルチメディア担当役員だった長澤雅浩が松下寿の本條社長に直接協力要請に行った。

同行した竹永はふたりのやり取りを鮮明に記憶している。「最初に長澤さんが『仕事はこないかもしれないが、開発に協力してくれますか』と、ずいぶん無茶な依頼をします。しばらく考えた後で、本條社長は『寿が参加しなかったら松下全体が負けるかもしれないという意味ですか』と答える。そして5分ほど考えたあと、本條社長は結論を出しました。『寿の最精鋭を出しましょう』。その1週間後、本当に最精鋭の技術者が21人派遣されてきました。禅問答のようなやり取りでしたが、このときの経営判断の見事さは忘れられませんね」。技術協力を要請したのは1995年のことである。まさにSDvsMMC Dのフォーマット論争が最終段階を迎えた重要な局面であった。このときの判断が、DVDの誕生に大きな影響を与えたことは間違いない。松下寿の技術協力の成果として、1996年11月には最初のDVD-ROMドライブが商品化されている。

材料開発で相変化技術のブレークスルーを引き起こした立役者の山田昇も、松下ならではのDVD開発体制のメリットを強調した。「すべてを1ヶ所でやっている強みがあったからこそ、相変化とDVDが実を結んだと思います。光ディスクは、たとえば化学メーカー1社では開発できないものなんです。あらゆる技術を開発できる総合メーカーでないと不可能ですよ」。同じ場所で開発できたことの強みは、たとえ課題が持ち上がったときに各分野の間で素早いフィードバックができるなど、たくさんある。そうしたメリットが、DVD開発のスピードを加速し、成功に導いた大きな要因だったのである。

松下オリジナル技術として世界が認めた相変化技術は高い評価を獲得し、長年の研究成果に対して「松下科学賞」が贈られている。受賞式の際、研究計画を最初の段階から牽引した太田威夫のスピーチの一部を紹介して、相変化技術をめぐる開発ストーリーを終えることにしたい。

「相変化記録の研究は、1972年にスタートしました。このプロジェクトは多くのことを私に教えてくれました。このプロジェクトに懸けた“志”は、世界中から多くの研究者を結集し、“志”こそがすべてを気付けさせてくれるのだ、と私は学びました。松下の若い研究者や技術者が、“志”を失わず、自身の目標を達成しつつづけてくれることを願っています」。



あとがき

DVDを成功に導いたプロジェクトは、実はいままも継続し、新たな段階に入っている。次世代大容量光ディスクとして松下電器やソニーが提案したBlu-ray Disc (BD)の開発に、これまでの成果があらゆる形で生かされているのだ。

BDは、青色レーザーを採用し、極薄の保護層を実現することで23.3GBというDVDの実に5倍に及び記録容量を実現した次世代フォーマットである。ハイビジョン番組を約2時間記録する能力があり、ソニーは第一号機を今年5月に発売した。

一方、松下電器は、目標とするBDの姿に向けてさらなる開発を進めている。松下電器がBDの開発で重点を置いている点は、DVDとの互換性を確保することにある。特に、DVD-RAM/Rの互換性は重要な課題である。また、さらなる長時間記録を実現するために、2層ディスクへの対応も視野に入れている。このキーテクノロジーの領域で、山田、大原、田中ら、相変化技術とDVDの開発で中心的な役割を担ってきたメンバーが、再び重要な仕事を任されている。

相変化技術に端を発する技術者の強い「志」は、いままも脈々と生きていのである。

<おわり>



DVDの技術開発は、多様な分野の技術者が大阪の守口、門真エリアに結集することで、はじめて可能となった。



相変化記録技術の「生みの親」である松下の「育ての親」である太田威夫の近影。太田はアメリカで、新たな“志”に挑戦している。



DVDの5倍の記録容量を実現するためには、対物レンズやディスク構造にさらなるアイデアと技術力が必要だった。