



オプトメカトロニクスと私

日本航空電子工業株式会社 元取締役中央研究所長
湯岡 泉 KATAOKA, Izumi

私が期せずしてオプトメカトロニクスの分野に足を踏み入れましたのは、1970年代の後半日本航空電子の研究所でリングレーザージャイロ（以後 RLG）を国産化しようと言う機運が盛り上がり、宇宙開発事業団（NASDA 現 JAXSA）と組んで開発が始まったことに因ります。当時高度な慣性航法、或いは航空機等の姿勢制御には機械式ジャイロと加速度計が用いられていました。

一方光を用いたジャイロの構想は 1913 年の Sagnac にまで戻ることが出来ますが、現実的な RLG はガスレーザーの出現をベースに米国ハネウエル社の Killpatorick により 1966 年に提案されました。周知の様に日本の航空産業は第 2 次大戦後、米国により解体され研究すら禁じられた時代があり大きく世界から遅れる事になりました。航空電子も英米から技術導入をして慣性航法装置の製造販売をしておりましたが、私が入社しました 1970 年代前半はまだ日本の高度成長期に当たり、国も上記の基本となる光ジャイロの技術は国産化したいとの意向を持っておりました。

RLG は回転する閉光路共振器長の回転方向に対する光路長差（ローレンツ収縮）を、光の速度が慣性空間に対して一定であることを利用して、それぞれの方向に伝播する光の発信周波数差として計測するものであります。従って理想的なその検出限界は、光の位相の揺らぎ ($\Delta\Phi$) と波数の揺らぎ (Δn) に対する不確定性限界 $\Delta\Phi\Delta n \geq 1/2$ により制限される限界値まで計測出来ることとなります。ただし、実際に人工的に制作された光共振器はいかに注意深く作られても鏡の表面からの散乱を無くすことは出来ず、さらに幾つかの欠陥を含んでおります。これらの欠陥や、反射面の粗さによる散乱は対抗して進む進行波の発信周波数を同期させる現象を引き起こし上記検出限界の遙か手前で両者の周波数差の情報を失わせます（不感帯）。この現象を回避させるために光学結晶によるバイアスを掛けたり、RLG を入力軸周りに機械的に回動させ同不感帯を逃げる手法が提案されていましたが、我々はより現実的な手法としてランダムなノイズを重畳したメカニカルディザ方式を選択しました。

製品としても高度な光共振器の実現と同共振器を機械的に回動させると言う一見自己矛盾するような手法を用いながら、不確定性関係を現実の RLG の位相誤差の導出に適応し、同 RLG の動作パラメーターを用いて導出される量子限界誤差にまで至ることが出来ることを実証しました。高精度 RLG の開発は同光共振器をいかに理想状態に近づけるかと言う試みと、また現実の共振器の理想状態からの隔たりを様々な手法により埋めるかという努力により実用に至ったと言えます。RLG のバリエーションは NASDA（現 JAXSA）の H-II（同 A, B）ロケットや防衛庁（現防衛省）の航空機用慣性航法に用いられた光路長 33cm のタイプ、ヘリコプターの自動姿勢制御用に一回り小型のタイプ、またより小型の慣性航法用が必要との事で開発された光路長 13.5cm（慣性航法用としては当時世界最小）のタイプを用意しました。

最少の慣性航法用 RLG は同スケールファクターが光路長に比例し、ランダムウォーク誤差は共振器光路が囲む面積に反比例するので光路長 13.5cm で同 33cm の物と同レベルの性能を実現する為にはミラーの損失を更に 1/6 に減らさなければならず、より高品位なミラーを開発しなければなりません。

んでした。

同 RLG 用ミラーの製作技術は後日、日本で最初の重力波計測用アンテナ（多摩 300）の光共振器用光学素子制作に用いられ、同共振器の評価で性能が実証される事となりました。同アンテナは三鷹の東京天文台の敷地内に設置される事となり、同ミラーの事前評価で製作したミラーは全損失 1.5ppm（波長 1.06 μ m に於いて）を実現し（文献 1）当時世界最高性能であることが示されました。

当初は RLG の製造技術は国防上重要なものとされ、航空電子では他の光学デバイスへの応用は控えていましたが、時代が流れ 1990 年代の後半から光学ミラーの製作技術は ASET での EUV 露光用光学素子の開発（反射ミラー用 Mo/Si 多層膜）や光通信用光学フィルター（DWDM, GFF その他）への応用展開となりました。航空電子では光学用多層膜技術以外にも MOCVD 技術を持っており（光ファイバージャイロの光源（SLD）開発用に準備した）、同技術で InGaAsP の 4 元化合物の超格子構造を持った 10GHz の E/A 光変調器を海底ケーブルの地上基地に供給致しました。また半導体加工技術を用いて MEMS 光スイッチを光ネットワークの監視用デバイスとして供給しトータルで光通信ネットワークの分野でビジネスを行おうと試みましたが、2000 年台半ばの光通信バブルの崩壊を契機に同分野から撤退致しました。

元々中央研究所は当時の航空電子の 3 事業部に共用出来る基盤技術を用意してそれぞれの事業部に貢献するという方針の元に運営していましたので、MEMS 光スイッチはマイクロ加速度計の振子構造を応用し可動ミラーにした物であり将来は MEMS 応用のマイクロコネクタ等の機構形成に用いようとして準備して居りました。

当時は上記デバイスを開発製造するのに必要な光学多層膜成膜用のイオンビームスパッタ（IBS）装置から研磨・計測システムまで自作で賄いました。また化合物半導体用 CVD 装置を始め同実装システム、MEMS デバイス製作用の設備一式等を自前で準備して専門の技術者を育成し、自社のノウハウの上に製品群を用意するという方針を持っていました。

昨今は産業界全体としては既に自前主義は過去の物となりましたが私個人は、航空電子を卒業後都内の技術系商社を任され、同社をイクジットさせ、その後は現在に至るまで航空電子時代に身に着けた技術を基に研究開発請負型の事業を行って居ります。メインの製品は光通信用光学フィルターの成膜を主な目的にした IBS 装置と難加工材料（例えば CVD ダイヤモンド等）の超平滑化等、次世代のパワーデバイス基板加工のキーテクノロジーとなる事を期待して用意したガスクラスタイオンビーム（GCIB）装置の開発販売を行って居ります。幸いそれらは大容量情報通信用デバイスや大電流制御デバイスの製作や同デバイスを形成するウエハーの超平滑化処理等を行おうとする企業からの引き合いが増えてまいりました。

入り口は高度な光学共振器を機械的に回転させながらその計測能力が不確定性限界に達する事が出来る RLG でしたが、同装置を実現させる過程で開発して来ました技術が形を変えて近い将来最終エネルギー形態の大半を電気をベースにする社会を支える基盤技術として採用されるとしたら、それは当時各社が自前技術で勝負した栄光の遺産で有る様にも思えます。

参考文献

- 1) K.Ueda, I.Kataoka, et all : "Ultra-High Quality Cavity with 1.5ppm Loss at 1064nm," OPTICAL REVIEW Vol.3, No.5(1996)369-372