

常識への挑戦—超軽量ゴルフクラブ—



随 筆

森 勇 藏*

本誌の編集委員長である世古口教授（大阪大学工学部機械工学教室）から「生産と技術」にゴルフに関して一筆書くようにとの依頼を受けた。以前に近畿化学工業会の会誌に拙文を書いたこともあり、それを焼き直せば何んとかなるだろうと思う一方、現在、阪大ゴルフ部長をやり、オフィシャルハンディーも6で、オール阪大のハンディ頭（？）という気負いも手伝って、引き受けたものの、生来のサボリのため難渋しているところである。

というのも、調べてみると、近畿化学工業界に一文を物したのは、11年前の昭和54年で、小生が39才、我がゴルフ人生26年間の前半の15年目にあたる時で、その文章を読み直して見ると、当時の心境がそのまま出ており、これを書き直しても無意味であることに気がついたからである。万事休す。

そこで、一計を案じ、近畿化学工業界（昭和54年2月号）に掲載された拙文を原文のまま、本誌にのせていただき、それを小生のゴルフ人生の前半とし、後の11年の歩みを追加することにより、責を果たしたことにさせて頂くという身勝手な原稿となった次第である。ここに、陳謝申し上げる。

〈黎明期〉

常識への挑戦—ゴルフクラブの科学—

大阪大学工学部助教授 森 勇藏

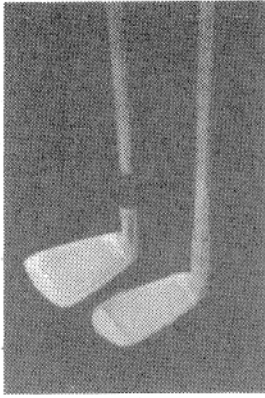
筆無精の小生が、平素御縁のない近畿化学工業界に雑文を書く破目になったのも、自からまいた種と諦めて四苦八苦することにした。というのは、小生の遊学の兄岸田敬三氏（阪大精密

工学教室助教授）を通じて、本誌の編集委員である村井真二氏（阪大石油化学教室助教授）から、近畿化学工業界に小文を書く義務があるが如き執筆依頼を受けた。

曰く「本誌の編集会議においてゴルフの話に花が咲いたとき、ある御人が阪大に奇妙なクラブでゴルフをしているのがいる。面白いから一筆かかせろ。その交渉を村井氏にまかせるということになった。」というのである。小生も御多聞にもれずゴルフ狂で、ゴルフ歴14年にもなるのにハンディキャップ10というお粗末な腕を棚にあげ、うまくならないのは道具のせいと、市販のクラブを大幅改造して、我がクラブこそは世界に一つしかない科学的なクラブであると自画自讃してラウンドした結果がこの始末である。口は禍のもと、自分のまいた種は自分で刈らなければならないことになったのである。それにしても、近畿化学工業界にもゴルフ狂が居ると嬉しくなり、小生を覚えていて下さった御人に紙面を借りて御礼申し上げる。

小生これでも学問を志す人々の末席をけがしているつもりである。専門という言葉はあまり好きではないが、敢えて言うなら精密加工の分野を主な仕事としている。宣伝めいて申しわけないが、最近認知されだした（自分で思っているだけかも？）仕事の一つに、Elastic Emission Machining というのがある。12年程前からやり出した仕事で、材料表面を原子の単位で弾性的に破壊し、結晶学的乱れがなく、精度も寸法精度で100~1000Å、表面あらさ10Åの高精度の加工を目指したもので、ようやく教値制御加工を実現できるようになってきた。この研究をやり始めた頃、加工の分野では原子単位で機械加工などは出来ないというのが常識であった。というのは、従来の機械加工は、材料

*森 勇藏 (Yuzo MORI), 大阪大学工学部, 精密工学教室, 教授, 工学博士, 精密工学



6番アイアン
左：市販のクラブ
右：改造したクラブ

内に先在する欠陥（転位やマイクロクラックなど）にもとづいて、転位の増殖による塑性変形やクラックの伝播による劈開破壊によって行なわれるもので、その加工単位も $1\mu\text{m}$ （1000分の1mm）以上であり、そのように考えられるのも当然であった。それ故、加工精度も材料内の欠陥の状態や性質に依存し、それなりの限界があった。

ところで、小生大阪大学工学部精密工学教室に学生の時から今日までお世話になっているのであるが、精密工学というもののほど得体の知れない名称はないと思う。御承知のように他の教室は、その名がおおまかな研究の対象を表わしているように思えるが、精密工学はどうも判然としない。そこで、自分なりに精密工学を定義づけて研究をやろうと考え、次のように収斂してきた。精密工学は生産工学である。しかもより高い品質のものをつくるための学問である。そのためには、あらゆる物理現象の精度限界を見極め、その極限まで利用することを窮極の目的としなければならない。

このような観点で加工というものを見た場合、材料は原子の結合で出来ているのであるから、原子一個づつ除去することもできるはずで、加工の窮極の精度は原子の単位（数Å）まで可能であり、それを達成する努力をしなければならないということになった。原子単位の加工というものを考えてみると、現象的には化学研摩や電解研摩はそのものずばりであるが、その加工速度は材料表面の仕事関数できまり、任意に制御できないため精度がでない。なんとか機械的

なエネルギーの与え方で加工ができないかと考え、到達したのが、Elastic Emission Machining である。EEMについては、別の機会があればお話しするとして、ここで言いたいのは、現在常識と考えられているものの中には、本当はある条件下で正しかったり、場合によっては間違っているものも多々あり、それを見抜いて、非常識を常識にすることが、我々の大きな仕事の一つであるということである。これが常識への挑戦であり、無理が通れば道理ひっこむ的発想ではないことを申し上げておく。

ここまでは、ゴルフの話を書くのがテレクサイため格好をつけたわけで、多少小生のゴルフと研究の態度に一貫性があることを認めて戴ければ望外の喜びとするところである。

さて、小生のゴルフは先述のように14年になろうとしているが、田舎コースのメンバーになったのが5年前で、それまでの9年間は人に連れていってもらった風来坊ゴルフであった。そのため、メンバーになったときは嬉しくて、開場1年目の夏休みにハンディキャップをとるために日参し、良いスコアカードばかりを提出して初めてもらったオフィシャル・ハンディキャップが12である。提出した平均スコアは1ラウンド平均78.4（6.4オーバー）と好成绩であった。ところが、2年目にクラブコンペが始まると、分不相応のハンディキャップのため、練習不足のときは見るも無惨な姿となり、ハンディキャップ12を維持するどころか、ゴルフが嫌になる始末である。練習すればハンディ12はなんとか維持できるが、それでは楽しむためにゴルフをしているというよりは、苦しむためにゴルフをしているようなものである。そこで大方の



例にもれず、良いクラブを使えばもう少しましなゴルフができるのではと、家内に頭を下げてボーナスをはたいて買ったのが米国のプロが多く使っているという有名ブランドのクラブである。意気揚々と練習場へ行き、コースをラウンドしてもなかなか良い球が打て、これで我がゴルフは完成と思ったとたんに元のもくあみ、考えて見ると新しいクラブを買えば、よろこんで練習場へ行き、いつの間にか練習が足りているため、良い球が打てるのであって、クラブを買い換えたからといって解決にならないことを痛感したのである。こうなると前途真暗。毎日ランニングなどして基礎体力を養い、練習場へ通わなければどうにもならないということになった。どんなスポーツをするにしても、うまくなるためにはそうするのが正しい常識である。しかし、ゴルフのためにそんなに時間とエネルギーと金を費すことは到底考えられるものではない。

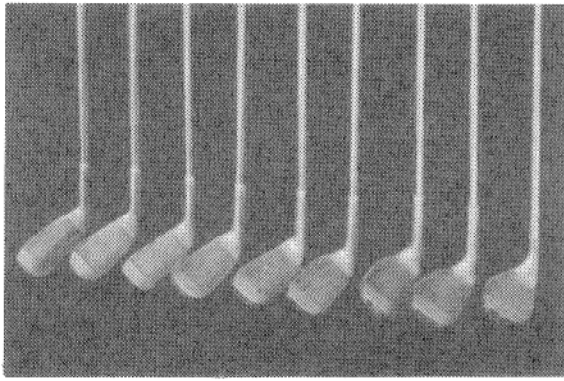
事ここまで窮して、ようやく自分のゴルフを冷静に解析し始めた。小生より上手な連中のゴルフと自分のゴルフを比較した場合、何が最も異なるかを観察すると、ドライバーはあまり飛距離が違わないのに、うまい連中のアイアンはよく飛ぶということである。ドライバーが同じで、アイアンが異なるということは、上手な連中がドライバーとアイアンの打ち方を変えているのか、同じ打ち方なら小生のアイアンが十分振れていないということになる。しかし、彼らがドライバーとアイアンの打ち方を変えているとは思えず、やはり自分のアイアンが振れていないのが本当のようである。そうするとなぜ振れないのかという疑問にぶつかった。この時点で、これは力学的な量の違いによるものだと感じ出し、ここからゴルフクラブの力学的計算が始まったのである。

ゴルフのショットとは、身体の回転運動により、手(腕、手首)を介して身体を軸にクラブを回転させ、高速で走るクラブヘッドをボールに衝突させることによりボールに運動のエネルギーを与え飛ばすものである。それゆえ、ボールの飛距離はクラブヘッドの速度と重さによってきまるのは常識である(弾性波の速度と衝突

時間から言って、ほとんどクラブヘッドの挙動だけできまるものである)。この事は大方の解説書に書いているが、このつぎからが問題である。つまり、一般にボールの飛距離は、クラブヘッドの速度に比例し、クラブヘッドの重さにも比例するという式が与えられるが、この式を見てクラブヘッドのスピードが速い方がよく飛ぶしクラブヘッドが重い方がよく飛ぶと早合点しているのである。この速度と重さの二つの項が独立して作用するのは、クラブを機械で振ったり怪力の持ち主が振る場合のように、好きな重さのクラブを好きな速度で振れる場合のことで、当然ながら弱い力の持ち主が振るときは、クラブヘッドが重くなればスピードは出せないし、クラブヘッドが軽くなれば、クラブヘッドのスピードを速くすることになり、相反するものである。

そこで、最大の回転力(トルク)の限られた人がクラブを振る場合、どのようなクラブを使えば最も飛距離を出し得るかを運動方程式を立てて解いて見た(式は省略)。その結果クラブヘッドの重さが軽ければ軽い程(ボールの重さ45グラムまで)、よく飛距離がでることが明らかとなった。この事は、敢えて運動方程式を立てて解かなくても明らかで、既製のクラブはそのようにできている。というのは、飛距離を出すためのドライバーのヘッドは最も軽くしてヘッドスピードが大きくなるようにし、飛距離を必要としないショートアイアンは、ヘッドを重くしてスピードがでないように設計している。このことから言えば、常識への挑戦という主題は全く当たっていないということになるが、市販のゴルフクラブの設計は、その常識をないがしろにし、非常識を常識としているとしか思えないのである。

市販のゴルフクラブの選択のための諸元は、長さ、重さ、バランス(重心の位置)、シャフトの剛性の四つである。これらを適当に変えたところで、その人にあったクラブを選ぶことは至難の業である。ゴルフクラブの振り易さは何かと言えば、回転における慣性モーメントの値できまる($I = \int_V r^2 dm$, r : 回転中心からの距離, dm : その位置での質量)。回転中心を身



改造したアイアンクラブ

(左から, 3.4.5.6.7.8.9. P.S)

体の中心と考えてもよいし、感度のよい手首(グリップエンド)を中心と考えてもよい。慣性モーメントが小さければ振り易いし、大きければ振りにくい。この慣性モーメントでクラブがランク分けされ、力の強い人、弱い人など、それぞれにあうクラブが売られておれば、アマチュアゴルファーはもっと簡単に上達できるのにとクラブメーカーの技術者を非難するのは、小生の独善であろうか？。ちなみに、国産および外国製のクラブの慣性モーメント(グリップエンド廻り)を求めると、国産($2.4\sim 2.7\times 10^6\text{ g}\cdot\text{cm}^2$)、外国製($2.6\sim 2.7\times 10^6\text{ g}\cdot\text{cm}^2$)と国産の方がパラツキが大きいだけで、その値はほとんど変わらず、どちらが振り易いなどと言えたものではない。ゴルフは外国で始まり、我が国へ渡来したものであることを思えば、市販のクラブは、外国人の巨体であれば容易に振れるクラブとして経験的に作られたもので、そのままのコピーを非力な日本人に振らすのは酷というものである。

以上のような解析にもとづき、我がクラブは購入後2カ月にしてヘッドの形を変え、世界一軽い(慣性モーメントの小さい)クラブとなったのである。なけなしの金で買った一流のクラブである。その改造には勇気がいったが、研究者としての意志が己をかり立て、首をかけるつもりで断行した。その後、半年程の間にハンディキャップは10となり、年に10回程度の練習で気楽にハンディ10のゴルフを楽しんでいる。

(註、軽くすれば、軽くする程よく飛ぶということを書いたが、重心同士の衝突の場合で、ヘッドを軽くすると重いクラブになれている人にとってスウィングが難しく感ずるし、ショット

のむらができる。自分が容易に振れる範囲の慣性モーメントで、ヘッドを重くする方が安定である。小生が今使っているクラブは、市販のものを20~30グラムほどヘッドを軽くしたものである。軽くさえすれば、ゴルフがうまくなると誤解されては困る。軽いクラブを上手く振ることができる人は、よいスウィングをしているし、距離ができる。また、身体も疲れなない。ゴルフ愛好家の皆様の御精進をお祈りする次第である。)

以上が、小生39才にしてゴルフに取り組んでいた姿勢であるが、慣性モーメントをクラブを分解せずに計算によって求めるのはなかなか大変であったことを記憶している。曲がりなりに、計算によって慣性モーメントを求め、すべての番手のクラブを同じ $2.0\times 10^6\text{ g}\cdot\text{cm}^2$ の値にするには、それぞれ何grに削ればよいかを算出し、改造したのである。かくして、超軽量クラブができ、ゴルフの可能性である飛距離が伸びたのであるが、実際は、充分満足できるクラブではなかった。というのは、飛距離は伸びたが、ショットの良し悪しの差が極端で、スウィングの感じがでないという悩みがあったのである。



〈成熟期〉

そこで、もう一度、ゴルフクラブの諸元について考え直してみた。それは、前述のように、長さ、重さ、バランス(重心の位置)、シャフトの剛さの4つである。これらは、それぞれ静的な量で、クラブを振るというダイナミックな量としては、慣性モーメント以外に何があるかということになる。これも当り前の話で、クラブのヘッド重量とシャフトの剛さによって決まる固有振動数が浮びあがってくる。結論として、ゴルフクラブの動力的性質を表わすのは、慣

性モーメントと固有振動数で、長さ、重さ、バランス、シャフトの剛さは参考資料程度にしかならないことが分つていただけだと思う。

しかし、すべての番手のクラブの慣性モーメントと固有振動数を同じにすることは至難の業で、クラブの長さは、それぞれ決まっているので、慣性モーメントをあわせれば、ヘッド重量は決まり、固有振動数、 f ($f \div \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$, k : シャフトの剛さ, m : ヘッド重量)をあわせようとすると、すべての番手のクラブにあった剛さのシャフトを用意する必要がでてくる。それゆえ、ゴルフクラブ作りの要は、ヘッド重量は、簡単に調整できるのであるから、シャフト作りにあると言える。

先に述べた小生の改造クラブでは、ショットにむらがでて、フィーリングがでなかったのは、ヘッドを削って軽くしたため、シャフトが剛く作用し、スウィングの際に撓まなくなったためである。

そこで、超軽量のより良いクラブを作るために、シャフトの交換が必要となったのであるが、シャフトを作るわけにもいかず、仕方なしに女性用の柔いシャフトを購入し、切る場所を調節して付け換えたのである。かくして、手に豆をした我が改造クラブは、慣性モーメントと固有振動数を合わせたつもり(計測できていない)の世界に一つしかない科学的な超軽量クラブとなったのである。

このような努力のお陰か、42才(昭和57年)にしてシングル入りし、その後、3カ月で8、43才で7、44才で6とハンディキャップをとんとん拍子にあげて行ったのである。(このように書くと、道具だけでシングルになったかのように見えるが、シングルの壁は厚く、心の安定の重要性を痛感したことも書きくわえておく)

ちょうど、その頃(昭和59年秋)、小生の噂を風の便りに聞いたのかゴルフ用品の販売会社である「つるや(株)」(西村文延社長)から電話があり、自社のオリジナル製品を生産し、メーカーとして出発したい。ついては、全く新しい企画のクラブを模索しており、先生が考案された超軽量クラブに興味があり、教えていただけないかということであった。小生も手に怪我をして

クラブを改造するのに多少疲れ気味であり、またかねがね、定年退官後、時間と金にまかせて本物のクラブを作ろうと思っていたので、こんなに早く、夢が実現でき、私の設計した通りのクラブを作ってくれるならと、引き受けたしだいである。

しかし、新しいクラブ作りにも相当の苦労が必要であった。それは、ヘッドを軽くするだけでなく、総重量を軽くし、文字通り世界一軽いクラブを作るため、ブラックシャフト(カーボンファイバーのシャフト)を使おうとしたためである。先に述べたように、ヘッドを軽くし、フィーリングのよいクラブにするためには、シャフトを柔らかくしなければならない。しかし、シャフトを柔らかくするという事は、強度が弱くなるということで、某社の最も強いカーボン繊維でシャフトを作っても、最初の試作の頃は、すべて折れてしまったのである。いろいろの苦労の末、使用に耐える製品が完成、昭和60年春から、AXELブランドで発売されたのである。ちなみにその頃、一般に売られていたドライバーの重量は、330~370gで、AXELのドライバーは260gと世界一軽いクラブとなった。このように、たかがゴルフクラブと言えども、常識から逸脱しようと思えば、先端技術を駆使しなければ不可能であったと言える。また慣性モーメントと固有振動数の高精度な測定器を製作し、安定にクラブが製造されている。固有振動数の測定は簡単であるが、慣性モーメントの計測は原理の面から力学的にもむつかしく、小生が考案したものは、空気軸受を使ったもので、これも世界に一つしかないと自負している。

このようにして、自分で改造したクラブから、本物に設計、製作されたはずのクラブができたのであるが、まだ、何か物足りない感じがし、それが何に起因するのか考え始めた。というのは、AXELで打った球は、高く舞い上り、風に弱いという感じがしたからである。2年間ほど試行錯誤し、考え続けたが、その原因が判らないため、昭和62年に超高速カメラによるボールの衝突時の分解写真を撮って見たところ、インパクトの時にシャフトが振れ、クラブフェースが開いていることがわかった。ここに至って、

やっとトッププロが剛いシャフトを使う理由が理解できたのである。シャフトが柔いと、スウィングのフィーリングは良くなるが、球が散らばる。これは、シャフトが撓んで、インパクトの時にクラブヘッドがもどらないためと思っていたが、本当はそうではなく、一般の等方性の材料で作ったシャフトでは、曲げに柔いということは、振りにも柔いということで、インパクト時にシャフトが振れていて、フェースの方向がまちまちで、そのために球が散らばったり、フェースが開いて高すぎる球が出たりするというので、プロが剛いシャフトを使うのは、スウィングのフィーリングを犠牲にして腕でカバーし、球の方向性を重んじるためであるということが分ったのである。

それでは、アマチュアゴルファーにとって、どんなクラブを作ればよいかということになるが、それは、曲げには柔かく、振りには剛い異方性のシャフトを使ったクラブが良いという結論になる。そこで、そのような異方性のシャフトを開発しようとしたのであるが、またもや、シャフトの強度が問題となり、四苦八苦の末、平成元年にまがりなりにも完成し、AXEL (Pro II) として販売されるに至ったのである。

このように、我がゴルフ人生は、ゴルフクラブの開発の歴史のようであるが、その間でも心に響く出会いもいろいろあった。その一つが、三上法夫プロとの出会いである。三上プロは、ジュニアの時から、ゴルフの非凡さを認められ、プロになっても活躍されていたが、30才代なかばで身体を故障し、シード権を失っていた。その彼が、昭和61年の暮につるや(株)の専属プロとなり、翌年2月に雪の降る西宮高原GCで一緒にラウンドさせてもらう機会を得たのである。その時、多少小生のゴルフの調子も良かったからか、小生のゴルフクラブに関心を持たれ、その結果、三上法夫プロのゴルフクラブを作ることになったのである。そして、その4月、推薦で出場されたブリヂストン阿蘇オーブントーナメントで優勝され、シード権を獲得し、そのインタビューで、これは大阪大学の森教授のお陰ですと言ってくれたのである。この一言は我がゴルフ人生にとって、大きなエポックとなったのである。

今、三上プロは、AXEL (Pro I) を使っている。益々の御活躍を念願するしだいである。

以上のように、これまでの50年の我が人生の半分は、ゴルフに明け暮れているようであるが、本稿を終えるにあたり、多少本職の研究も行なっていることを述べさせて頂きたい。

先に述べたように、小生の研究の一つとして、EEM (Elastic Emission Machining) と称して、原子オーダの超精密加工を25年近く行ってきた。この研究は、昭和40年過ぎ、小生が25才の頃からの仕事で、自分が生きている間に役に立つものとは思っていなかった。しかし、世の中の進歩は目覚しく、お陰で先端技術として使われるようになり、例えば、数年後に打ち上げが予定されている宇宙開発事業団の純国産化のH II ロケットのリングレーザジャイロの反射鏡の加工に使われるようになった。このことは、2年前にNHK教育テレビの番組で、ETV 8 「試される技術強国・検証、日本の製造技術力」で東京大学教授吉川弘之氏(現・東大工学部長)の解説のもとに我が研究室が紹介され、日本にもオリジナリティーのある仕事があるなされているとお誉めの言葉をいただいたのである。それまで、ロケットや航空機の姿勢制御用に開発されてきたリングレーザジャイロの反射鏡は米国から輸入され、日本では製造できなかったが、我がEEMにより、米国から購入した反射鏡で作ったジャイロよりも性能の良いものができるようになったのである。その他、半導体、非球面レンズ(資源探査用衛星、ステッパー用など)、エキシマレーザ用エタロン板、SOR(Synchrotron Orbital Radiation)用の反射鏡などの加工に使われつつある。研究面では、EEMの加工機構は、固体の表面を粉末表面で量子力学的挙動でChemical Etchingするものであることが明らかにしつつあり、また、加工された表面が原子オーダの凹凸しかない超精密な鏡面であることをSTM(Scanning Tunneling Microscope)の製作により明らかにすることができ、人工的に作った表面では、EEM面は世界一であることを実感している昨今である。「常識への挑戦」、それが明日への活力を生み出すものである。