

機械の操作フィーリング

Feeling at Machine Operation



久保愛三*

Prof. Aizoh KUBO

At operating machine, when the machine reacts linearly to the operator's intention with minimum time-lag, without harshness and noticeable noise or with small comfortable sound and vibration, we generally feel good and the machine is OK. From this point of view, conditions for good feeling of car steering system is discussed.

Key Words: feeling, machine, car, steering, gear, control, system

私は小さいときからカメラ好きである。世の中にはライカ気狂なる人種がいて、あのコトツというシャッターの落ち具合がたまらないという。写った絵自体としては所詮はフィルムサイズの大きい中判や大判のカメラにかなうはずもないが、その操作性の良さで良いシャッターチャンスをものにし、良い写真を残している。この操作性の中には、カメラの大きさ、重さ、重心がどうで、手の平のどこが機械を支え、指の動きが自由でそれが自動的にシャッターボタンの上にあることなども関係しているのであろう。が、ライカ気狂は、「シャッターを切ろうと思ったときに自然とシャッターが切れていると言うこの感覚ね。一番良いのはやはり M3, M4 あたりで、最近のライカはどうもねー」と言う。確かに、良いと言われているものと最近のものとを比べてみると、個体差はあるが最近のものは、シャッターボタンを押したストロークの動きに若干のしゅう動感というかゴリゴリ感があるようで、その程度も、シャッターボタンを完全に垂直に押した時と少し斜めからの力がかかるような押し方をしたときで変わるようである。

この場合の機械の操作フィーリングとは、オペレータが「機械はこう機能してほしい」と思い、そのための動作がごくわずかに起こった瞬間に、最小のタイムラグで機械がリアに反応し、その際、オペレータが検知できるようなノイズを伴わない、あるいは、快感をもたらす音や微小振動を伴うのを良いと感じるようである。

いま、このことを自動車の純機械式の操舵系に置き換えて話をすると、図 1 において、ある環境の中にある自動車の状態 A を運転者が B に変えたいと思い、そのためのステアリング操作をした時、快適な大きさの力でステアリングラックが C1* 変位し、それが車の進行方向に対してタイヤにある角度を与え、その結果として車に変化が起こって状態が B* に変わる。その際、どれほどのタイムラグで、結果 B* が得られるか、その状態と期待していた変化状態 B との相違はいかがか、両者の間の関係はリアか、この状態変化に不可避免的に付随する廃棄出力 D としてのノイズや振動の大きさは問題ない程度で人の感覚にとって不快なものではなかったか、が良いフィーリングの判断基準であろう。したがって、操舵フィーリングといった場合、それはステアリングホイールからステアリングラックまでの話でないことは自明であ

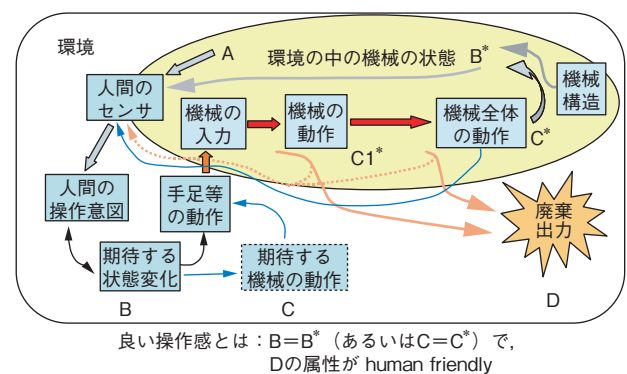


図 1 機械の操作と動作

Operation of machine and its reactions

*京都大学工学研究科 教授 工学博士

る。全動作の変換の結果としての車の挙動と廃棄出力の人の感覚に対する不快さ、あるいは、快適さの程度が問題になり、また、 B^* の状況を認識できるために、廃棄出力や機械の動作から人間の感覚へ、いかなる情報のフィードバックが与えられるかも大きな要素である。

今、話を簡単にするため、図1の機械の動作・機械全体の動作のところをまとめて図2の機械の動作と表されているとする。ある環境の中にある機械の状態AをオペレータがBに変えたいと思い、そのための操作をした時、どれほどのタイムラグで現実の状態が B^* に変わるか、Bと B^* との相違はいかがか、この状態変化に不可避免的に付随するノイズや振動などの廃棄出力Dの大きさが問題ない程度か、その属性は人の感覚にとって不快なものでないか、が良いフィーリングの判断基準である。

機械の入力が快適と感じられる程度の力ですむようにこのシステムにパワーアシストが導入された場合の模式図が図3である。この場合も良いフィーリングの定義は変わらないので、機械動作のところと機械入力のところのリニアリティが問題となる。人間の動作に対して機械の動作が過敏になりすぎないような非線形特性を与えたいときにも、適正な確定的非線形特性を与えるためには、動作変換のリニアリティを確実に実現できる能力が前提である。ステアバイワイアのような人間の動作と機械の動作部との間に機械的結合のないものについても同じである(図4)。

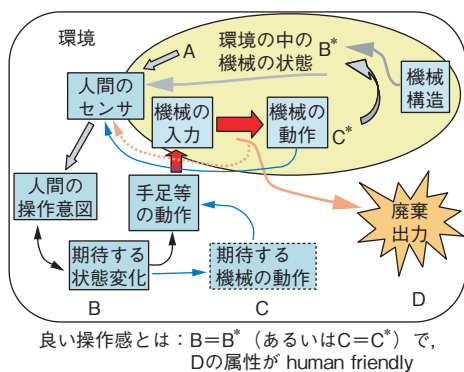


図2 機械の操作と動作
Operation of machine and its reactions

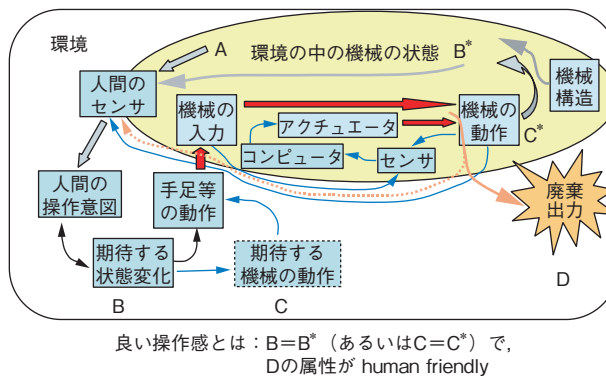


図3 パワーアシスト付き機械の操作と動作
Operation of power assisted machine and its reactions

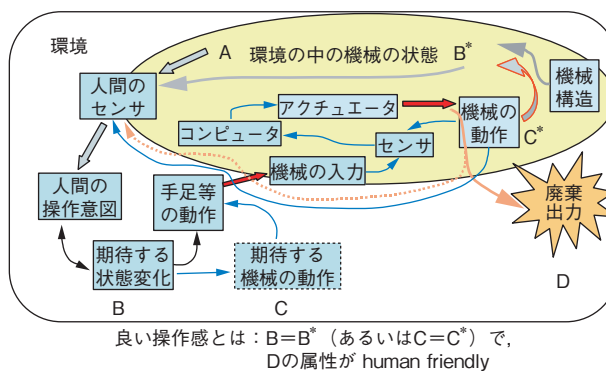


図4 バイワイア機械の操作と動作
By-wire operation of machine and its reactions

機械が人間の手や足の動作とリニアリティを持って動作するようにするため、コンピュータで駆動されるアクチュエータはきわめて複雑に制御されている。それにもかかわらず、操舵フィーリングが十分に良くなっていないことの多いのが実情である。なぜだろう。多くの理由があるが、そのうちの代表的なものに機械的動力伝達系の問題がある。

人が操作をして機械が動作をするまでの間、あるいは、アクチュエータが動作して機械が動作するまでの間、すなわち、図で赤の矢印で示されているところは、人と動作する機械とがハードに連結されているところである。その中には、回転速度の比率を変えたり、力を増幅したり、回転運動を直線運動に変換したりする機構がある。多くの場合、そのために、歯車やねじなどが使用される。

ところが、例えばロボット屋さんなどに典型的にみられるのであるが、機構を考えている人の多くは、これらの機械要素たとえば歯車は、運動をリニアに変換してくれるものと信じ、制御を考えているようである。歯車は歯数の比で回転速度をリニアに変換しているものだと無条件で信じ、そして、歯車はギャノイズがでてやかまし

いなんてことを言っている。この間の状況認識の矛盾に気がついていない。ギャノイズがでるのは運動がリニアに変換できていない証拠、すなわち、駆動歯車に対し被動歯車が主として回転方向の相対振動をし、それが動的振動荷重となって装置をふるわせてギャノイズがでている、歯車なんてものは本質的に等速運動を伝達できるものではないと言う認識がない。

どんな荷重状態でも、滑らかに、静かに等速運動の伝達を歯車が実現するには、設計、製造、品質管理、組み立て等々が協力した大きな努力が必要なのである。理由は簡単である。歯車の前述のような性能には、ミクロンオーダーの歯面形状の空間位置の相違が大きな影響を持っているため、歯の形状精度、稼働時の歯車並びにそれが組み込まれている装置の弾性変形全ての合計としての歯面の3次元形状の空間位置の確保をいかに実現できるかに等速運動の伝達は依っているのである。すなわち、静かでスムーズな運転を実現するには、歯車歯面

の3Dマイクロ形状精度や同じオーダーの装置の弾性変形、バックラッシを考慮した製品の設計・製造が必要である。

図5は、昔、ドイツのある自動車メーカーがマニュアルミッションのギャノイズで苦しんでいる時に手助けをした資料の一部である¹⁾。現状の歯形から数ミクロン歯先修整量を増やすことにより歯車の回転角度伝達の変動がずっと小さくなり、また、修整をやりすぎると今度は逆位相の変動が増えてゆく状況が認められる。シェーピング工程での歯先修整量を現状から10ミクロン増やすように、歯車仕上げ加工条件を変更したことにより、回転変動が最小となり、問題が解決した。歯車が操作フィーリングに直接関係するステアリング系について、このことは、「歯車歯形のミクロンオーダーの差でスムーズで静かなステアリングと、ヒューヒュー操舵音がするステアリングとの差が出てくる」ことを示唆している。

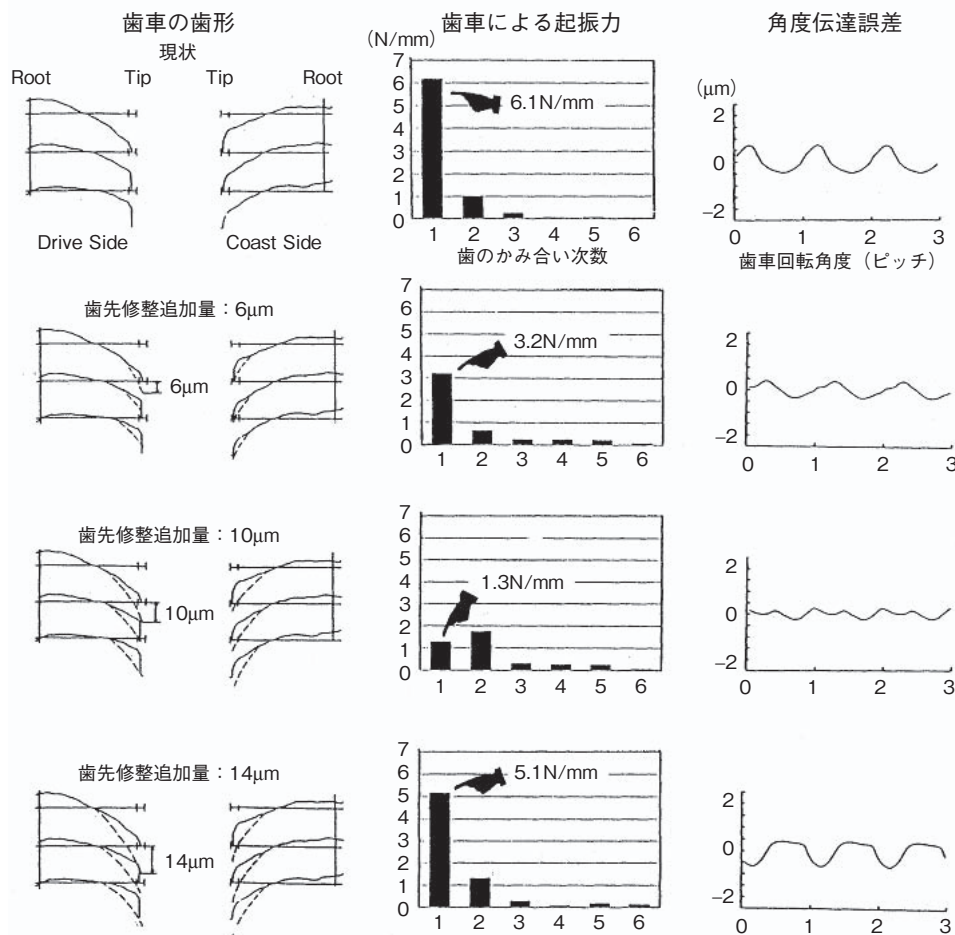


図5 歯車の歯形の微細な形状変化による、角度伝達性能、振動起振力の変化の例

Example of changes in angular transmission performance of gears and vibration exciting force induced by minute changes in 3D shape of gear tooth flank

工程での不確定さの影響を受けにくいので、どちらかといえば色々なことが比較的容易に意図に則してできる。しかし、力を伝え機能を実現する機械部分抜きでは、その性能は実現できない。原理的に剛性が保てるようなステアリング構造を採用し、容易ではない機械部分の高精度製造をあえて押し進め、リニアに動作するハードの上に良い制御をわずかに加えることにより、快適な自動車の第一条件である操舵フィーリングを最高のものにする事が出来るはずである。

今般、光洋精工と豊田工機が一緒になって ジェイテクト (JTEKT) となった。車の駆動系のより広い部分を担当でき、自動車会社と協力してステアリング操作の快適性を開発してゆけるのは、良い車を実現する上でたいそう有益なことである。日本の車が故障率の低さや装備のコストパフォーマンス、外見の大衆うけだけでなく、そのフィーリングの良さ、運転の楽しさでも世界一になれるように、また、その技術を世界の車に供給できるように、技術の正道をつき進んでほしい。技術離れがとやかく言われる日本の若者に、技術者としての夢を与えるためにも。

参考文献

- 1) Y. Kawasaki et al., Development of 5ht Gear Noise of Automotive Manual Transaxles under High Volume Production, VDI Berichte 1230 pp. 705-718 (1996. 04. 22-24 Tagung Dresden)
- 2) JSME RC-184 歯車装置の次世代設計・製造技術調査研究分科会 報告書(2002. 12. 06)4.4 節