

人の手を模倣したロボットハンドは多くの研究者を惹きつけてやまない。実際に、人の手は冗長関節、指先の軟らかさ、転がりながら物に接するといった興味深い特徴を有している。ロボットハンドの研究は既に数多く行なわれているが、その多くは主に静的か準静的な取り扱いに限られている。実際、制御に関しても、計算トルク法や把持物体とロボット指のあらゆる関節の運動計画に基づくオープンループ制御が多い。また、指先の転がり拘束に関しても、静的な取り扱いに終止し、動的な解析を進めることはなかった。一方、親指と人差し指または中指との対向性が人類の進化において重要な役割を果たしているといわれながら、ロボティクスにおいて拇指対向性に基づく制御入力の構築は近年まで注目されなかった。

本論文では、指先の転がりを許したロボット指一対が、2次元運動においては平行または非平行、3次元では平行な側面を持つ物体を、重力下で操作する際の物理的相互作用を取り扱い、そのダイナミクスを拘束のあるラグランジュの運動方程式としてモデル化する。そして、物体情報および外界センシングを用いずに、拇指対向性に基づく"blind grasping"と呼ぶ制御則を構築し、閉ループダイナミクスが力/トルク平衡に収束することを理論、数値シミュレーションおよび実機による把持実験により検証する。

2次元ピンチングと3次元のその最たる違いは、物体の瞬時回転軸が前者では時間に依存せず常に同じ方向を向くのに対し、3次元ピンチングではその軸が時間により変化することから、新たに物体の回転を表すための非ホロノミック拘束が必要なことである。また、3次元空間における2本指ピンチングについては、重力の影響により左右の指先と物体との接触点を結ぶ対向軸回りに生じるスピニングが生じないと仮定し、物体については5自由度のモデル化を行う。そして、非ホロノミック拘束とスピニングが起こらないという仮定に矛盾することなく、指-物体からなるシステム全体のダイナミクスが導出できることを示す。その結果、非ホロノミック拘束とラグランジュの運動方程式が混在するこのような複雑な系に対して、因果律に矛盾しない数値シミュレータを構築する。このシミュレータを駆使することにより、ロボット指一対による精密把持が"blind manner"で実現できる制御入力を見出し、その有効性を検証する。