

Can triniobium tin shrink accelerators?

ニオブ3スズで加速器は小さくなる？

Eric Hand Nature Vol.456 (555) / 4 December 2008

世界の粒子加速器のほとんどで使われている超伝導加速空洞は、改良の余地がなくなりつつある。しかし、これまで注目されていなかった超伝導材料を使えば、粒子を短距離で高いエネルギーに加速できる加速空洞を作れるかもしれないことが、新たな理論的研究でわかった。それが実現すれば、加速器の建設費用はずっと安くなるだろう。

しかし、ニオブ3スズなどの材料で作られた新しい加速器部品を開発し、テストするにはまだ何年もかかるだろう。

超伝導加速空洞の性能を改良するため、研究者たちは何十年も努力してきた。超伝導加速空洞を連続して並べ、マイクロ

波パルスを注入すると、荷電粒子を加速する強い電場ができる。加速された荷電粒子は、素粒子実験や、高強度光源となるシンクロトロンなどで使われる。加速空洞はニオブで作られることが多い。ニオブは金属で、絶対零度の数度上まで冷却されると超伝導を起こす。

飛躍的な性能向上

科学者たちは、この金属の性能の向上にも取り組んできた。溶接方法、巻き方、空洞形状、表面処理を工夫して「加速勾配」を着実に増加させてきたが、進みは遅かった。加速勾配は、加速空洞で粒子を特定の速度にどれだけ速く加速することができるかを示す尺度で、メガ電子ボルト毎メートル (MeV/m) で表される。1つの加速空洞による加速勾配は、実験室でのこれまでの最高の達成値で 59MeV/m だ。加速器全体は数百の加速空洞が連なってきており、現実的な条件のもとでは、実験室での半分の加速勾配を達成することもむずかしい。

ニホウ化マグネシウムやニオブ3スズなどのほかの超伝導材料も見つかっているが、それらで加速空洞を作る研究はほとんど行われてこなかった。コーネル大学 (ニューヨーク州イサカ) の物性理論研究者 James Sethna は「こうした新しい材料の性能は、ニオブよりもずっと悪いか、少なくともそれほどよくはないと考えられていました。しかし、私たちの見積もりによれば、これらの材料を使うことで劇的に高い性能を得ることができるはずだ」と話す。

Sethna はラトガーズ大学 (ニュージャージー州ピスカタウェイ) の Gianluigi Catelani とともに研究を行い、その結果は *Physical Review B* に掲載される。また、物理学プレプリントサーバー arXiv ですでに手に入る (<http://arXiv.org/abs/0810.4720>; 2008)。Sethna は「ニオブ3スズの加速勾配は最高で 120MeV/m、ニホウ化マグネシウムの場合は 200MeV/m に達する可能性があります」という。

そうした加速勾配を実現するまでには時間がかかるだろうが、将来の加速器建設費用を大きく減らすことができるかもしれない。例えば、70億米ドル (約6300億円) の費用がかかると見積もられている計画の次世代加速器「国際リニアコライダー (ILC)」は、500ギガ電子ボルトのエネルギーを達成するために、数千個の加速空洞と 31キロメートルの長さのトンネルが必要だ。しかもそれは、ニオブ製の加速空洞が 30MeV/m 強という野心的な加速勾配目標を達成できたとしての見積もりである (右のグラフを参照)。もしも新材料で理論的に可能とされる 200MeV/m まで加速勾配を上げることができれば、ILC の長さははるかに短くなり、トンネルやビームラインなどの建設にかかる費用を減らすことができるかもしれない。

国際リニアコライダーに

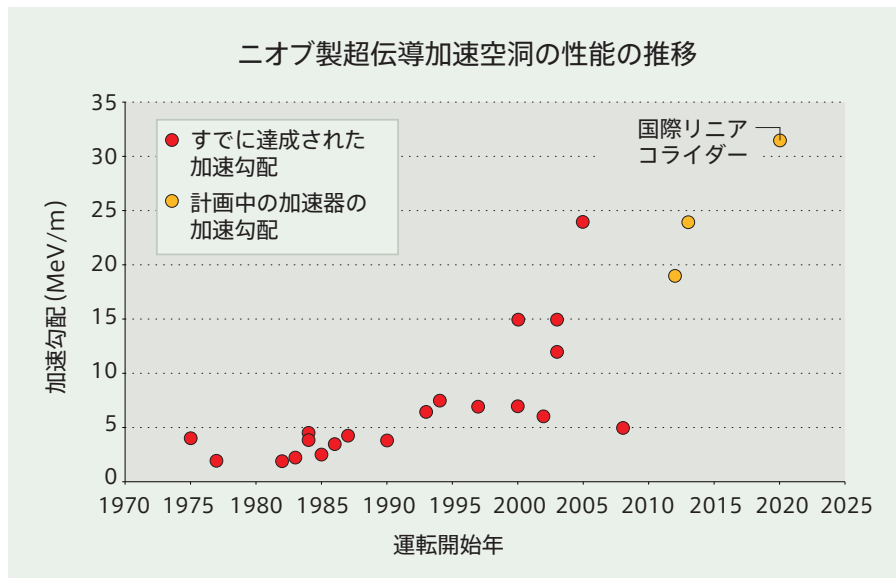
Sethna によると、超伝導材料の限界を記述する従来の古い理論では、運転温度の極端な低さや超伝導体の中のできる渦 (こうした渦は磁力線に対する障壁になる



現在の加速器の加速空洞は、ニオブで作られている。

ため、加速空洞はより高い勾配を実現できる)を正確に説明することができなかった。「実験家はこれまで、『私たちは一生懸命ニオブでやってきたのです。今さらなぜ、ほかの材料を試す必要があるのでしょうか?』と言い訳するのが常でした」と Sethna はいう。「そんな彼らに対して、私たちがにわかに『あなたたちは間違った理論研究者の意見を聞いていたのです』といい出したのです」。

コーネル大学の超伝導の専門家 Hasan Padamsee は、Sethna の研究結果に興奮している。Padamsee は 1990 年代後半、ニオブ 3 スズで加速空洞の試作品を作ったが、ニオブで作られたものよりも性能は低かった。しかし、それはニオブ 3 スズの基本的な性質ではなく、特定の試料に伴う問題のせいだったのだと Padamsee は Sethna の今回の研究結果を見て思うようになった。



Padamsee は「新材料を使った性能のよい加速空洞を完成させるには、少なくとも 5 年かかるだろう」と話す。それでは、近い将来に ILC に使うには間に合わないが、ILC の性能をさらに上げるころには間に合うかもしれない。バージニア州ニューポートニューズにあるトマス・ジェファソン国立加速器施設の上級研究員 Peter Kneisel は、それほど楽天的で

はない。彼は、ニオブ製加速空洞を少しずつ改良し、また、その限界は受け入れるほうが良いと考えている。

「隣の芝生はいつも青く見えるものです」と Kneisel は話す。彼は、40 年にわたってニオブ製加速空洞を改良してきた。「今回の新材料だって、実際に加速器に使えるようになるのは 40 年後かもしれません」。