NEWS LETTER

令和3(2021)年度学術変革領域研究(A)

2.5D Materials

2.5次元物質科学：
社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト

2.5次元研究室へようこそ

© もんでんひでこ



前回までのあらすじ

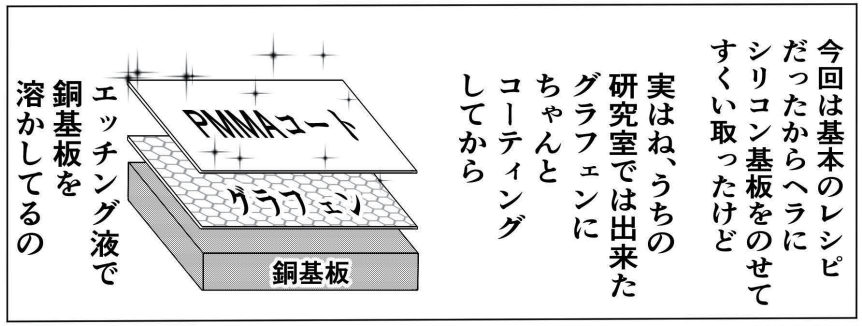
最先端科学のゼミに入るべく、グラフェン作製試験を受けたが剥離法ではパスできなかった4年生太田浩二。大面積グラフェンが作れるCVD法でなら不器用な自分にも出来ると豪語して春日大学の門を叩く。

ところが、そこでもグラフェン作りの緻密なノウハウの洗礼を受けるハメに。せっかく作ったグラフェンを転写する操作ができずに太田君、またもや大ピンチ。



1

第3話　前人未到のテラヘルツ波



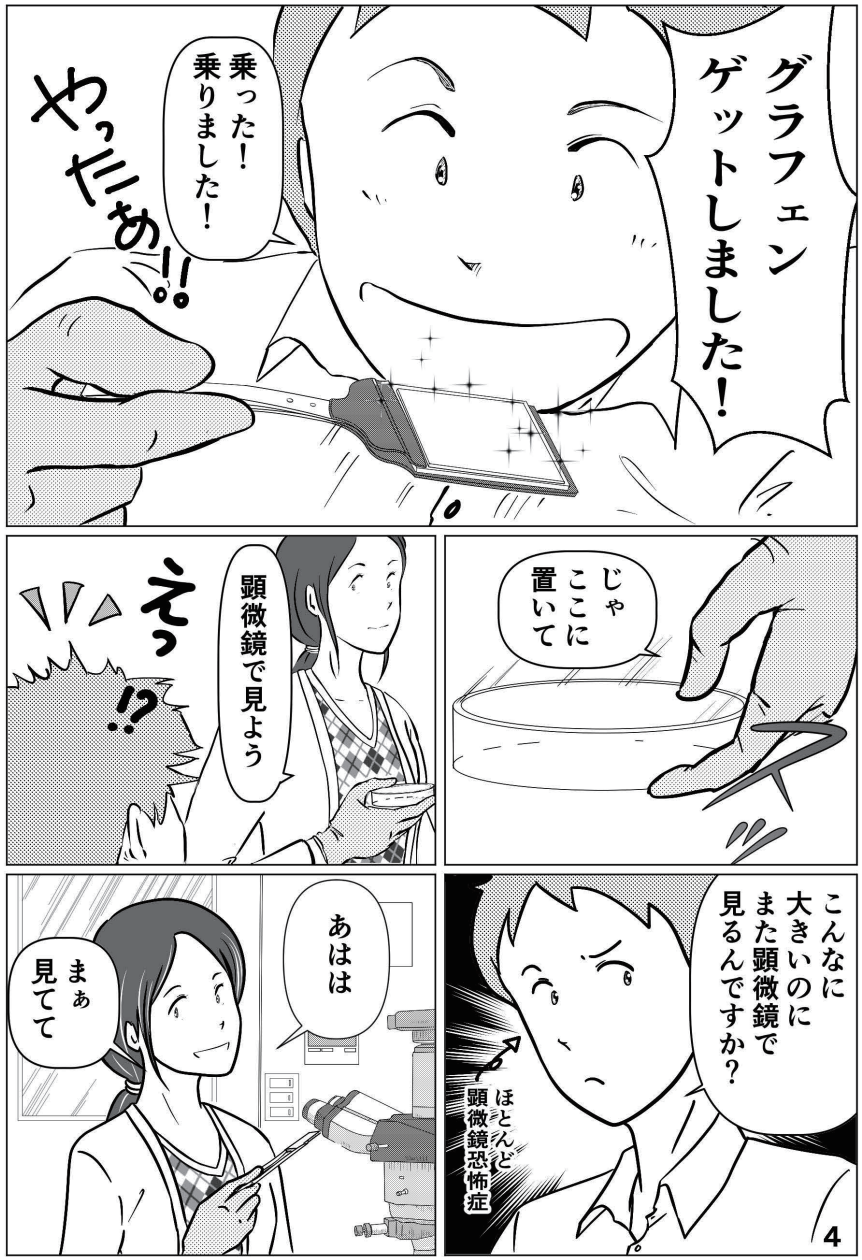


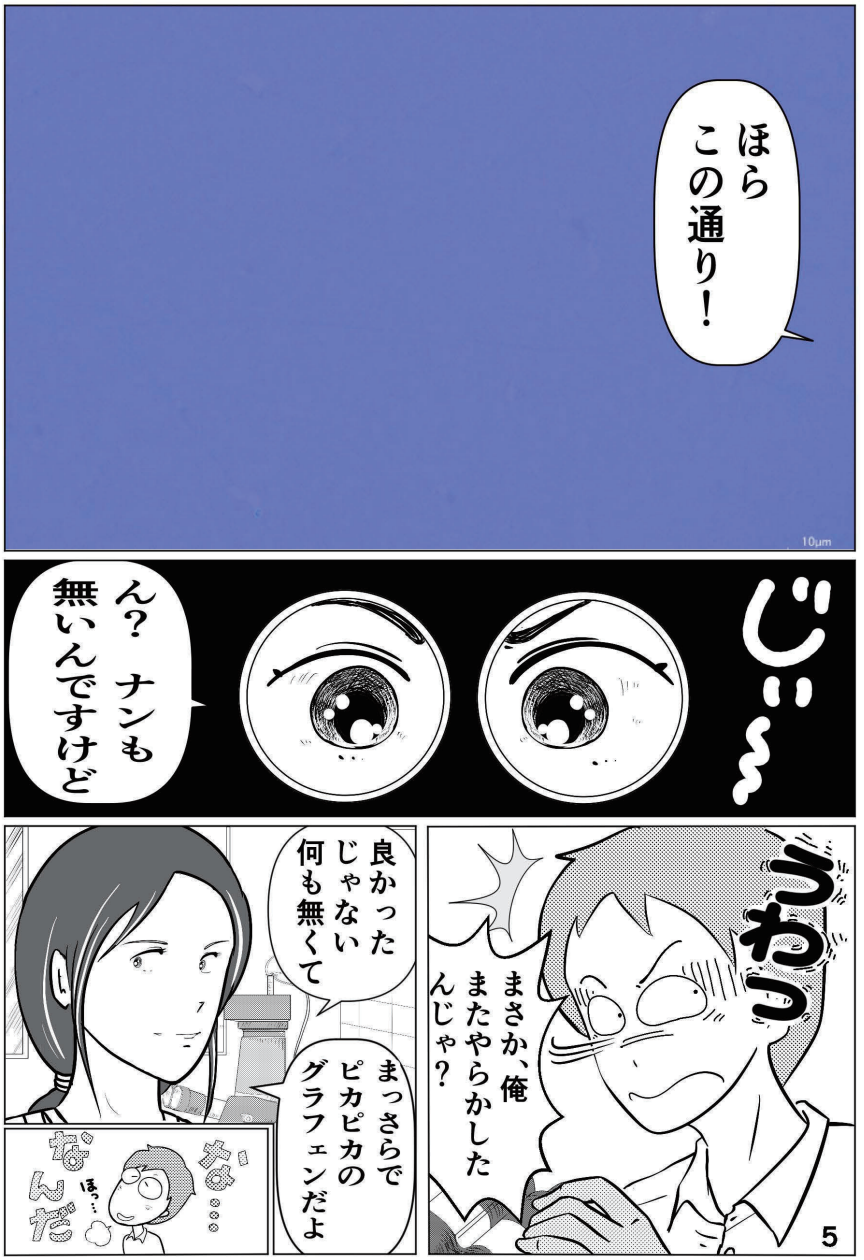




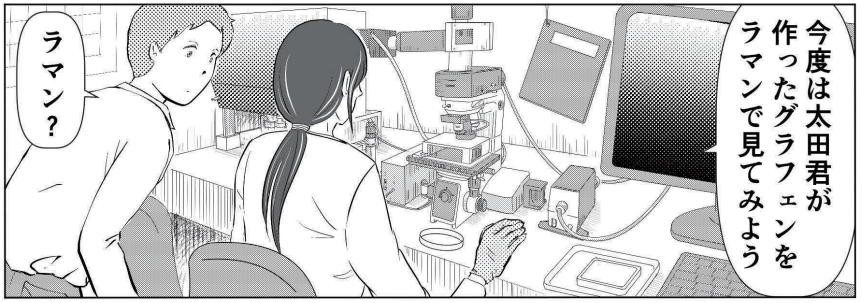


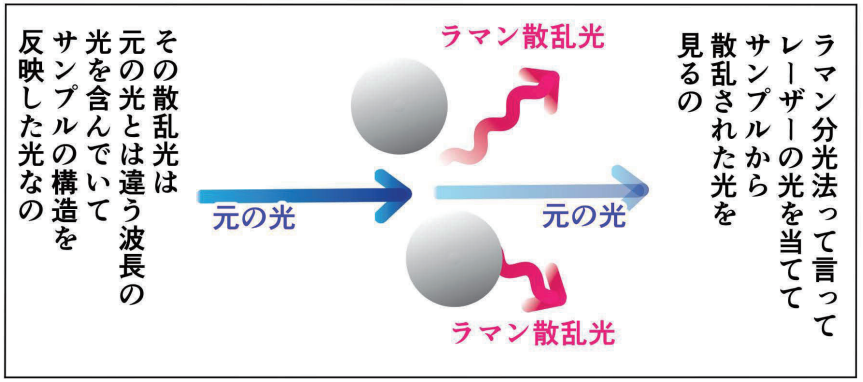
2


でもこれでCVD法の大変さもわかってもらえたんじゃないかな
はぁ…そりゃもう身にしみて
CVDなら出来るってナメてたのが完全にバレてる…
気を取り直してもう一度
俺不器用なこと忘れてつい天狗になっちゃうんだよな
もっと深いところからすくいに行くといいんじゃないかな
ちゃんとシリコン基板の上に乗せなきゃ
3
グラフェンゲットしました！
乗った！乗りました！
やったぁ!!
じゃここに置いて
顕微鏡で見よう
えっ!?
こんなに大きいのにまた顕微鏡で見るんですか？
ほとんど顕微鏡恐怖症
あはは
まぁ見てて
4

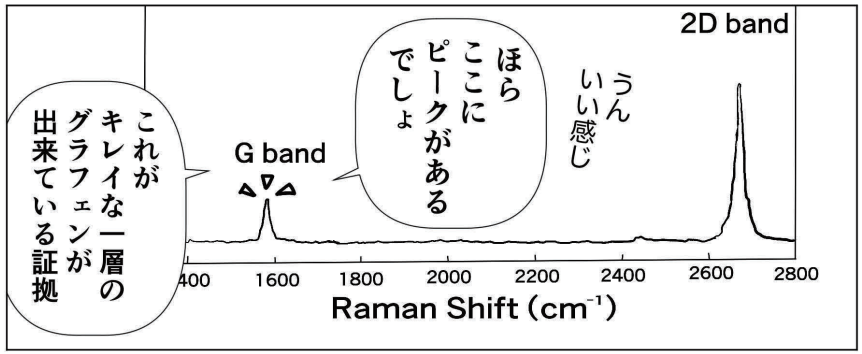

うわっ
まさか、俺
またやらかした
んじゃ？
5
じ～～
ん？　ナンも
無いんですけど
良かった
じゃない
何も無くて
まっさらで
ピカピカの
グラフェンだよ
な…
なんだ
ほっ…
ほら
この通り！
10μm

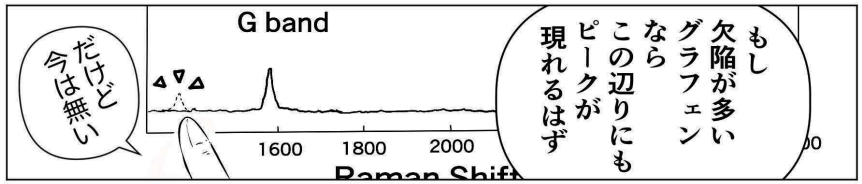

ほら
これだよ
10μm
ちなみに
転写に失敗した方の
グラフェンを
見てみようか
え？
ん？
なにか
問題でも？
よーく見て
たくさん
破れている上に
点々と光ってる
高分子の残渣もある
あ…
確かに
言われて
みれば…
なんか
波うってる
よーな
シワや
不連続な
部分では
電気伝導性も
落ちちゃうから
高品質な
グラフェンを
いかに大きく効率よく
作れるかが
これからの
カギになるの
1cm
1cm
ってか…
あぜん…
顕微鏡でみないと
わからない レベルの
クオリティを目指してる
んですね…
顕微鏡で
見ると
出来不出来が
一目瞭然
6


今度は太田君が
作ったグラフェンを
ラマンで見てみよう
ラマン？

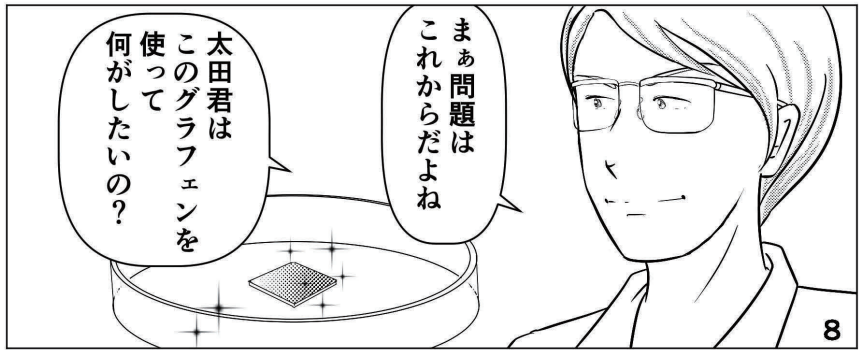

ラマン分光法って言って
レーザーの光を当てて
サンプルから
散乱された光を
見るの
その散乱光は
元の光とは違う波長の
光を含んでいて
サンプルの構造を
反映した光なの
ラマン散乱光
元の光
元の光
ラマン散乱光


均質なグラフェンが
出来ていれば
グラフは鋭い
ピークを示すの
まずこのピーク
2Dバンドって言うんだけど
出来たグラフェンが
1層だとこんな感じね
だけど2層や3層などの
多層だと　形も位置も
ずれていくの
2D band
2600
7

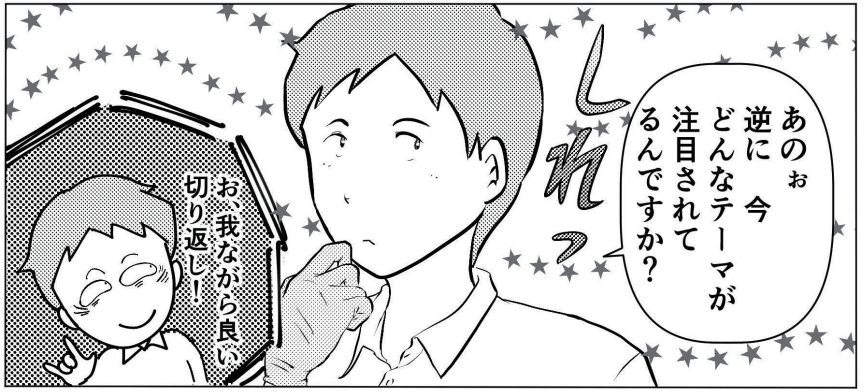

2D band
G band
Raman Shift (cm⁻¹)
400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
うん
いい感じ
ほら
ここに
ピークがある
でしょ
これが
キレイな一層の
グラフェンが
出来ている証拠


G band
1600
1800
2000
もし
欠陥が多い
グラフェン
なら
この辺りにも
ピークが
現れるはず
だけど
今は無い

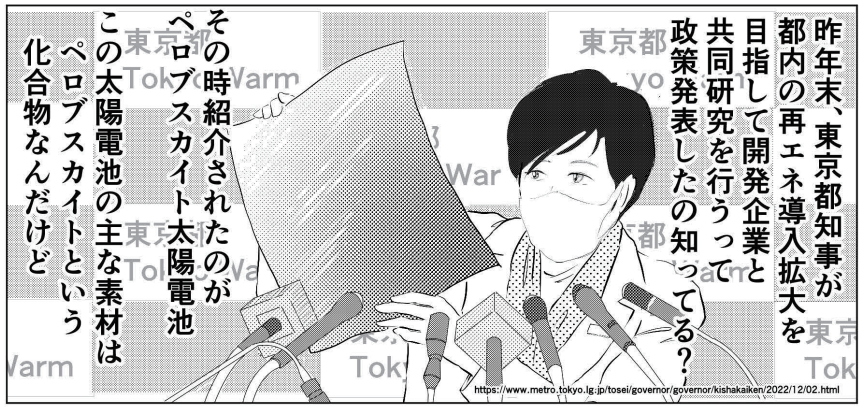

2D band
うん
いいねぇ
ラマンは？
どんな感じ？
どうかな？
そろそろ出来た
頃かと思って

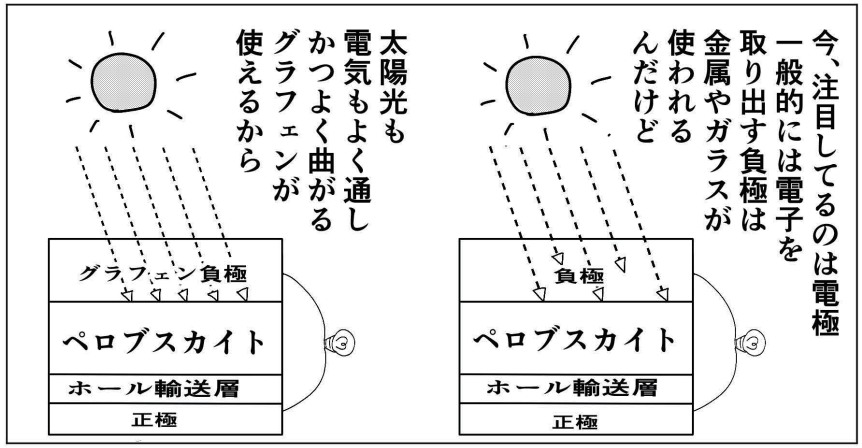

まぁ問題は
これからだよね
太田君は
このグラフェンを
使って
何がしたいの？
8


えぇ？
しまった
そんなこと
考えてないよ
やべ…
だって
とにかく大きい
グラフェンが
作れれば
ゼミに残留できる
って思ってたから
とにかくそのノーベル賞を取ったやり方でグラフェンをやり方で作ってもらう
ちゃんと出来なければもちろんよその研究室に移ってもらう


あのぉ
逆に
今
どんなテーマが
注目されて
るんですか？
お、我ながら良い
切り返し！


太田くん、
グラフェンは
技術開発競争の中で
ゲームチェンジャー
になりうる最先端の
物質なんだよ


昨年末、東京都知事が
都内の再エネ導入拡大を
目指して開発企業と
共同研究を行うって
政策発表したの知ってる？
その時紹介されたのが
ペロブスカイト太陽電池
この太陽電池の主な素材は
ペロブスカイトという
化合物なんだけど
https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/governor/governor/kishakaiken/2022/12/02.html


今、注目してるのは電極
一般的には電子を
取り出す負極は
金属やガラスが
使われる
んだけど
負極
ペロブスカイト
ホール輸送層
正極
太陽光も
電気もよく通し
かつよく曲がる
グラフェンが
使えるから
グラフェン負極
ペロブスカイト
ホール輸送層
正極


そうそう
グラフェンがらみで
言えば
すぐそばにも開発競争の
只中にある研究室がある
から紹介しようか


もっと高効率で
軽い太陽電池の
開発競争が
進んでるんだよ
軽い！
フレキシブル!!
なんか、今までの
太陽光パネルと
全くちがう

あれ
小石川先生は？

あ、今授業です

じゃぁ悪いけど
この学生さんに
テラヘルツデバイス
について説明して
くれるかな

今日は
グラフェンの
勉強に来て
くれたんだ

彼ね駿河大
4年生の
太田くん

庵渡研
だよ

よろしく

こちらは
ドクターの
富坂くん

アニド…

じゃ頼んだよ
後でまた来るよ

ホントに君、
庵渡研究室なの？

え？
大丈夫？
脚ついてるよね？

コーレイ見てるわけじゃ
ないよね…

ポリポリ

は？
はぁ…

いや
ほんとは
仮採用というか
追い出される寸前
というか…

いやぁ
見上げた根性だよ

JAPAN-EU WORKSHOP 2015

はぁ

ってか無謀？
命知らず？
とにかく
すっごいな…

そ、それ
褒めてない
ですよね？

道路に飛び出す
猫みたいに
思われてん
だろーなー

ぎゃあああ

あ～
悪い悪い
そうそう
テラヘルツ波ね

廊下のポスターで
説明するね

ヘルツは
振動数の
ヘルツHzで
良いとして
テラはギガの
上の
10の12乗？

10^6 M メガ
10^9 G ギガ
10^{12} T テラ
×10^3
×10^3

テラヘルツ波とは

電波　テラヘルツ波　赤外線　可視光　紫外線　X線

振動数　100MHz　10GHz　100GHz　1THz　10THz　100THz　1PHz　100PHz

TV

そう
振動数で言えば
電波と赤外線の間
の領域

ここはね
電磁波の
未開拓ゾーン
なんだよ

これ、何に
使うんですか？

例えば
飛行機に乗る時
保安検査を受けるよね

ビビッ!!

手荷物が
X線検査で
引っかかったら
バックを開けて
じっくり調べ
られるよね

ざっ

そうなったら
時間がかかって
仕方ない

ざぁ ざぁ

もっとはっきり
ちゃんと危険物を
探知できれば
そんな手間を省く
ことができる

何が
ひっかかった？

ん？

これを解決して
くれるのが
テラヘルツ波なんだ

スイスイ

空港のって
要はレントゲン
ですよね？

それで見えて
るんだから
いいじゃないですか

注 ホントは骨まで
見えてません。

13

そう思うよね
でもX線を使ってると
無駄に被曝するよね

ゲッ!!

ダメもう一回

あぁ
確かに…

テラヘルツ波は
凶器みたいな
金属なら
反射する性質を
持っているから

おっ、しゃりゃ
こんなの持って
ないっす！

そこで人体に
無害な
テラヘルツ波
が登場する

赤外線

電波

テラヘルツ波

テラヘルツ波が
反射した
金属部分
（白色）

テラヘルツ波が
透過した
その他の部分
（黒色）

封筒の中の
クリップ

Optimized series

Y (mm)

X (mm)

PTE response (μV)

例えば封筒の
中のクリップも
こんな感じに
映し出されるんだ

K. Li, et al. Advanced Photonics Research 2021, 2, 2000095

透視画像

おぉ－
くっきり、はっきり!!

14

つまり
テラヘルツ波は
X線のような
透過性もあるし
形もバッチリわかる
しかも無害なんだ

しまった
見つかった

それに
空港でチェックするのは
包丁みたいな凶器や
武器の密輸だけじゃ無い

違法薬物や
輸入禁止の植物が
持ち込まれるかも
しれない

これを
チェックするのに
分子の振動を利用する

実はね
その振動数は
ちょうどテラヘルツ波
くらいなんだ

ブルブル
ブルブル

電波
テラヘルツ波
赤外線
可視光
紫外線
X線

だから、
ある分子にいろんな
振動数のテラヘルツ波を
当ててやると

その分子に特有の
振動数のものだけが
吸収されるって
ことがわかってきた

2THz
1THz
吸収
4THz
3THz
この分子は1THz
だけを吸収

2THz
1THz
4THz
3THz
例えば
1、2、3、4THz
をかける

もしかして
人間の指紋みたいな
モノですか？

おっ、良いコト言うねぇ…

そうそう
まさしくそれ
吸収される
振動数で
分子が何か
わかるんだ

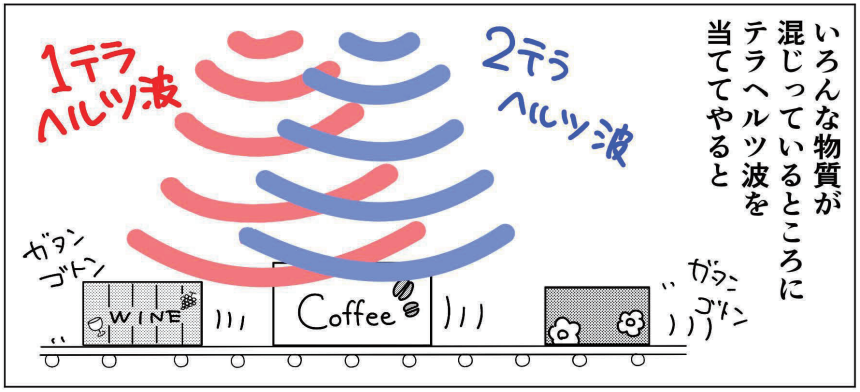
例えば
覚せい剤には
1テラヘルツの電磁波が

爆薬には
2テラヘルツの電磁波が
吸収されるとする

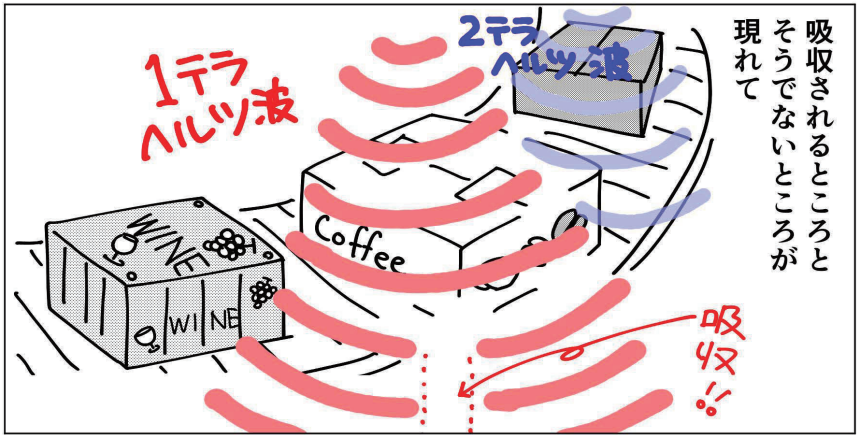
当てるテラヘルツ波強度
1テラヘルツ

当てるテラヘルツ波強度
2テラヘルツ

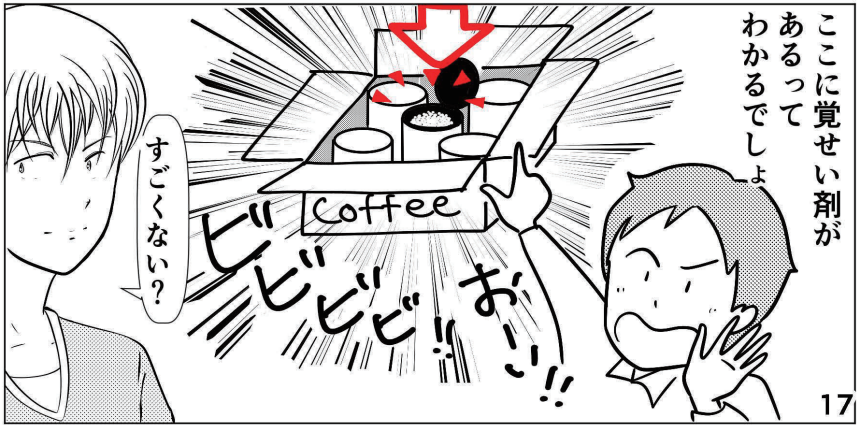
いろんな物質が
混じっているところに
テラヘルツ波を
当ててやると



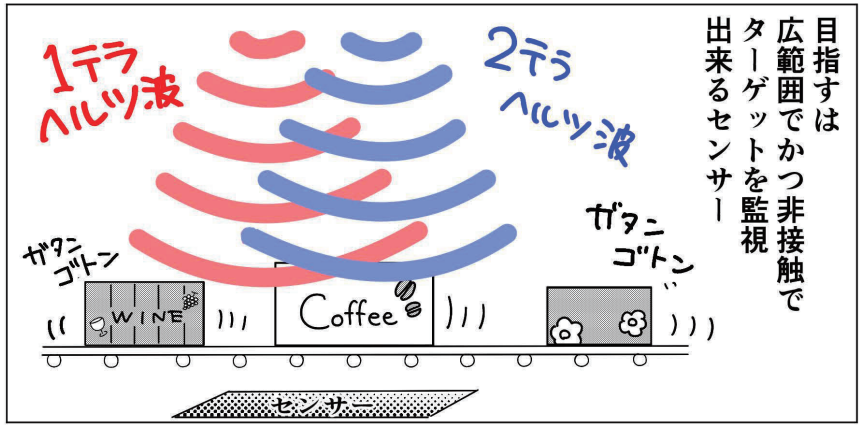
吸収されるところと
そうでないところが
現れて



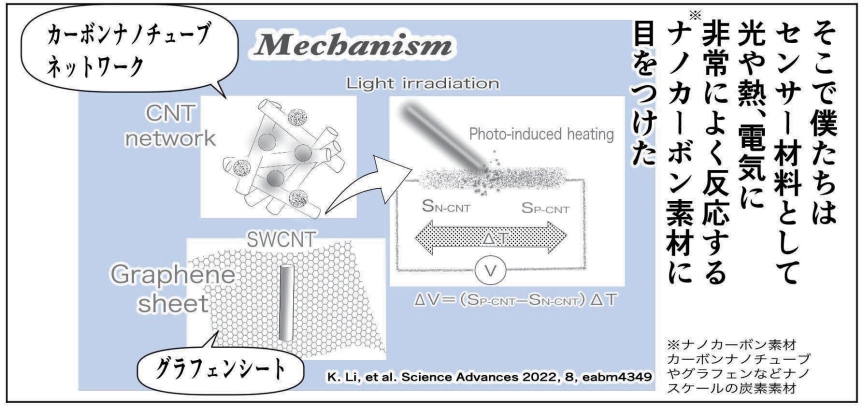
ここに覚せい剤が
あるって
わかるでしょ



目指すは
広範囲でかつ非接触で
ターゲットを監視
出来るセンサー

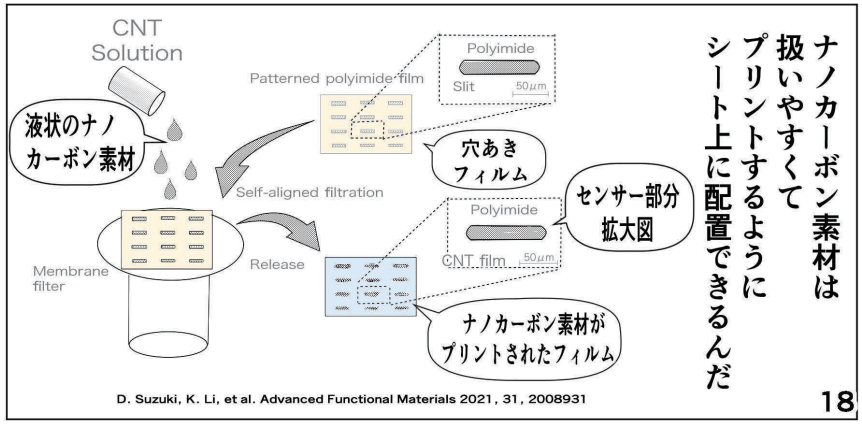


そこで僕たちは
センサー材料として
光や熱、電気に
非常によく反応する
※ナノカーボン素材に
目をつけた

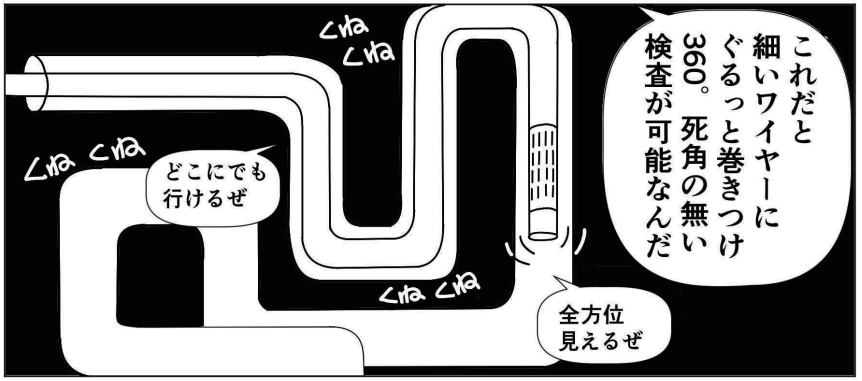


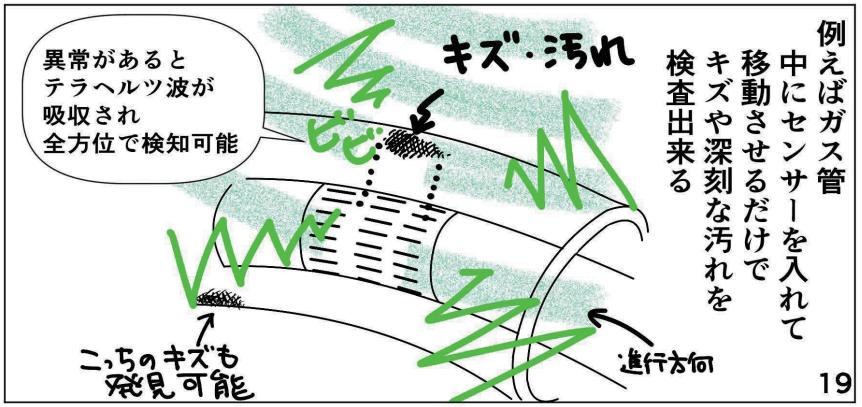
※ナノカーボン素材
カーボンナノチューブ
やグラフェンなどナノ
スケールの炭素素材

ナノカーボン素材は
扱いやすくて
プリントするように
シート上に配置できるんだ

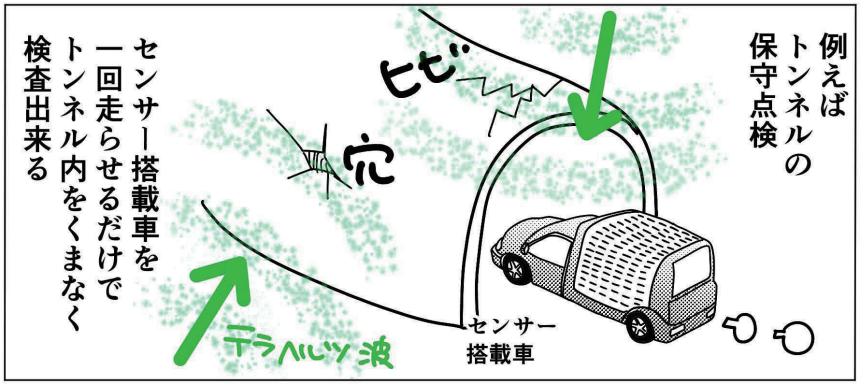


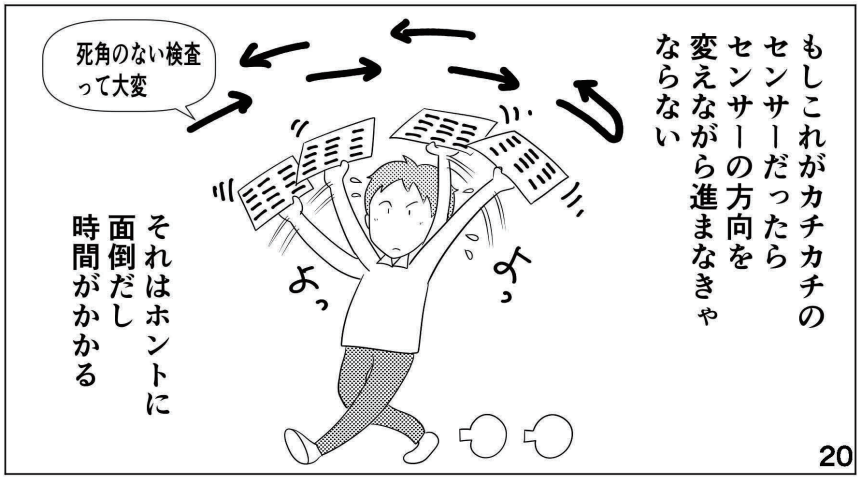

だから僕らのセンサーは曲げられるのが強みで
こんな風にシート上に配置してどんな形にも変形できる
センサー部分
フレキシブルなセンサーシート

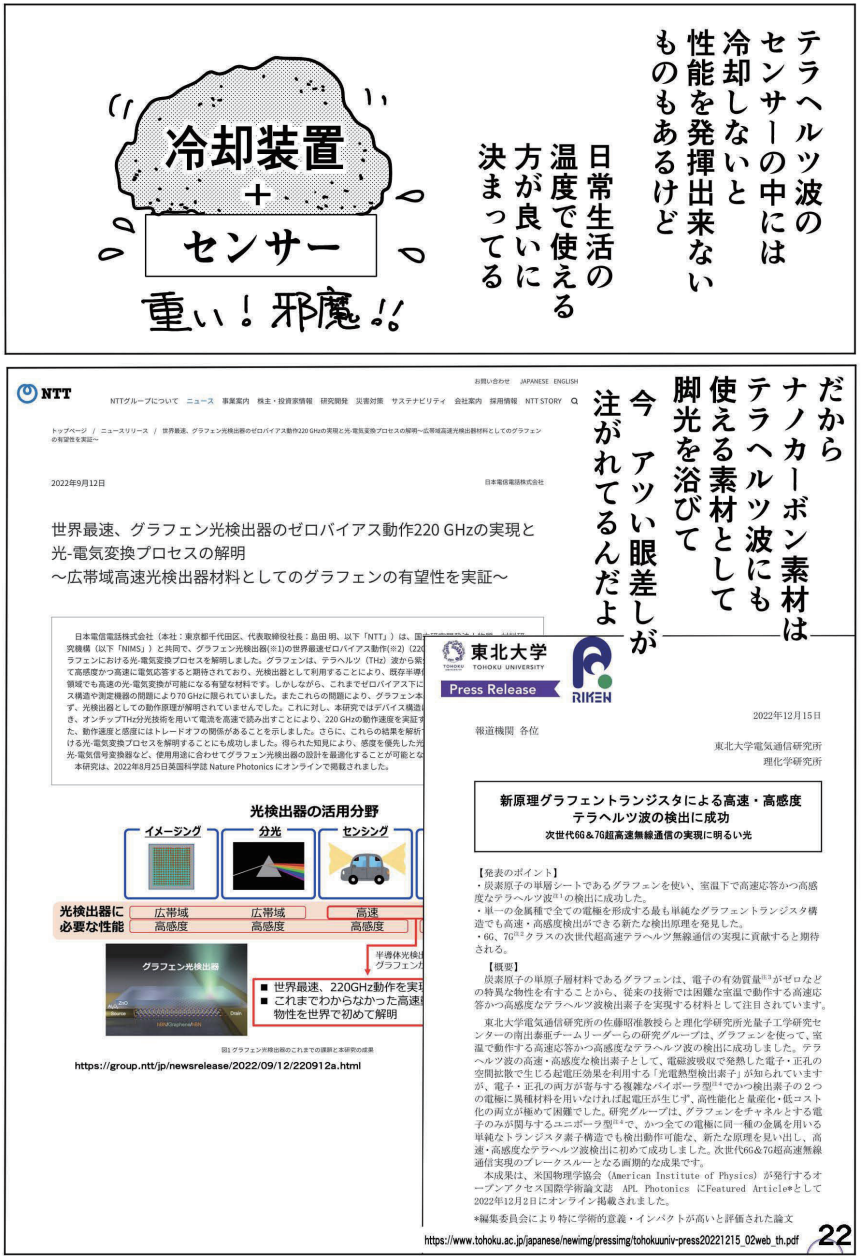

これだと細いワイヤーにぐるっと巻きつけ360°死角の無い検査が可能なんだ
どこにでも行けるぜ
全方位見えるぜ


例えばガス管中にセンサーを入れて移動させるだけでキズや深刻な汚れを検査出来る
異常があるとテラヘルツ波が吸収され全方位で検知可能
キズ・汚れ
こっちのキズも発見可能
進行方向

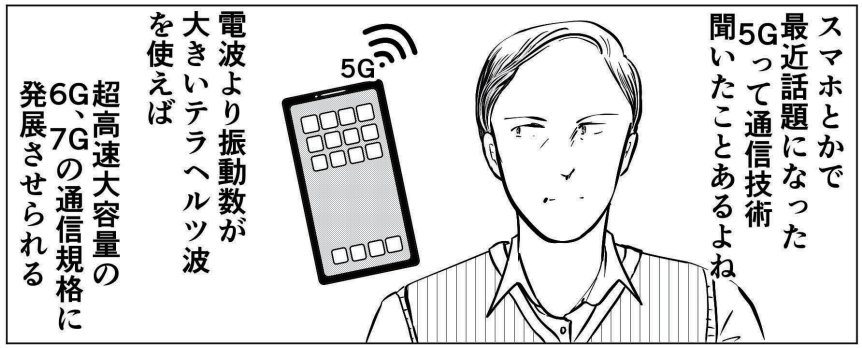

※https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
高度成長期に集中的に整備された社会インフラは
今後20年で一斉に老朽化すると予測されているんだ※
それらのメンテナンスは今や待ったなしの社会課題なんだ

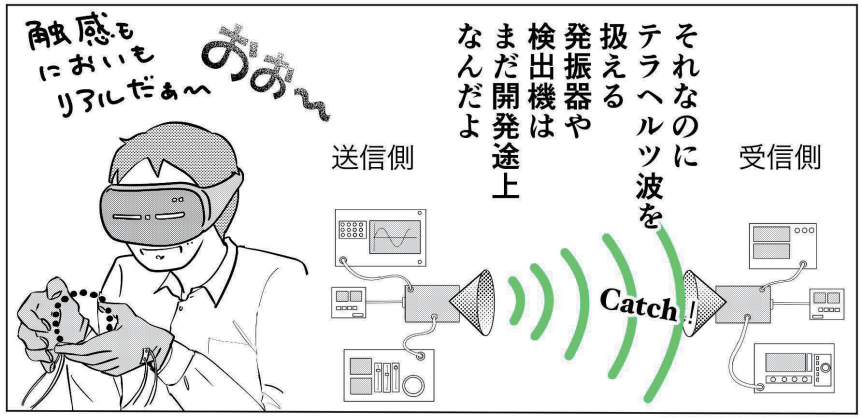

例えばトンネルの保守点検
センサー搭載車を一回走らせるだけでトンネル内をくまなく検査出来る
ヒビ
穴
テラヘルツ波
センサー搭載車

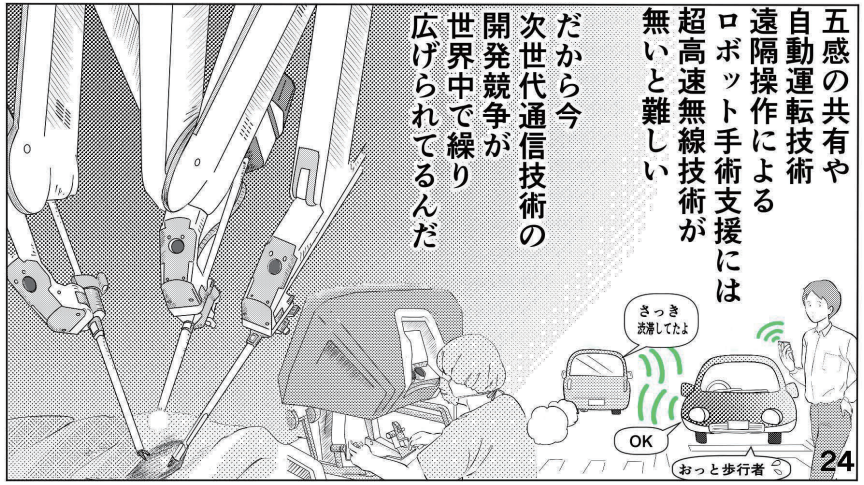

もしこれがカチカチのセンサーだったらセンサーの方向を変えながら進まなきゃならない
それはホントに面倒だし時間がかかる
死角のない検査って大変
よっ
よっ


冷却装置
＋
センサー
重い！邪魔!!
テラヘルツ波のセンサーの中には冷却しないと性能を発揮出来ないものもあるけど
日常生活の温度で使える方が良いに決まってる
だからナノカーボン素材はテラヘルツ波にも使える素材として脚光を浴びて今アツい眼差しが注がれてるんだよ
NTT
2022年9月12日
世界最速、グラフェン光検出器のゼロバイアス動作220 GHzの実現と
光-電気変換プロセスの解明
～広帯域高速光検出器材料としてのグラフェンの有望性を実証～
光検出器の活用分野
イメージング
分光
センシング
光検出器に必要な性能
広帯域 高感度
広帯域 高感度
高速 高感度
グラフェン光検出器
■ 世界最速、220GHz動作を実現
■ これまでわからなかった高速物性を世界で初めて解明
https://group.ntt/jp/newsrelease/2022/09/12/220912a.html
東北大学
TOHOKU UNIVERSITY
Press Release
RIKEN
2022年12月15日
報道機関 各位
東北大学電気通信研究所
理化学研究所
新原理グラフェントランジスタによる高速・高感度
テラヘルツ波の検出に成功
次世代6G＆7G超高速無線通信の実現に明るい光
【発表のポイント】
【概要】
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20221215_02web_th.pdf
22


電気や物流を止めるたり分解したりせずに検査出来るって
現代社会には本当に大切
僕大学院ではこれ一筋
グラフェン作っておしまいじゃないのよ
スゴ…
クールに見えて実はアツい院生なのね
CNT Solution
Patterned polyimide film
Polyimide
Slit
50μm
Membrane filter
実はまだすごいことがある
ナノカーボン素材は電子やホール(正孔)が高速移動できるし光をめちゃくちゃ吸収するって言ったけど
室温でもこの性質が維持されるっていうのがミソ
21


スマホとかで
最近話題になった
5Gって通信技術
聞いたことあるよね
5G
電波より振動数が
大きいテラヘルツ波
を使えば
超高速大容量の
6G、7Gの通信規格に
発展させられる


それなのに
テラヘルツ波を
扱える
発振器や
検出機は
まだ開発途上
なんだよ
触感も
においも
リアルだぁ〜
おお〜
送信側
受信側
Catch!


五感の共有や
自動運転技術
遠隔操作による
ロボット手術支援には
超高速無線技術が
無いと難しい
だから今
次世代通信技術の
開発競争が
世界中で繰り
広げられてるんだ
さっき
渋滞してたよ
OK
おっと歩行者
24


で…僕らも
ナノカーボン素材の
類まれなる
特性を武器に
テラヘルツ波対応の
デバイス開発に
参戦中なのさ※
へぇー
すげえなぁ


おっと
ここからは
企業秘密
たとえ
学部生でも
内緒だよ
KEEP OUT
立入
しー


いやいや
僕めちゃくちゃ
初心者なんで
安心して
下さい
めめそーよい!


あ、先生
にわかポスター
セッションだって?
あ、
こんにちは
23


さっき
筑紫先生に
聞いたよ
今、彼に説明が
終わった
ところで…
うーん
ここに書いて
ないコト
と言えば…





第3話監修
A01班 吾郷浩樹教授（九州大学）
A05班 河野行雄教授＆李 恒助教（中央大学）
詳しくは https://25d-materials.jp
©もんでんひでこ
門田美子 神奈川工科大学 講師(物理)
領域広報担当 サイエンスコミュニケーター